



Esta obra está bajo una [Licencia  
Creative Commons Atribución-  
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Uso de barreras dinámicas en áreas con amenaza de caída de rocas para mitigación de riesgo en zona vial urbana en la Alameda Shilcayo en la ciudad de Tarapoto, provincia de San Martín, departamento de San Martín**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil**

**AUTOR:**

**Alex Jhonatan Ramírez Tecco**

**ASESOR:**

**Ing. Carlos Enrique Chung Rojas**

**Tarapoto – Perú**

**2020**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Uso de barreras dinámicas en áreas con amenaza de caída de rocas para mitigación de riesgo en zona vial urbana en la Alameda Shilcayo en la ciudad de Tarapoto, provincia de San Martín, departamento de San Martín**

**AUTOR:**

**Alex Jhonatan Ramírez Tecco**

**Sustentada y aprobada el día 21 de julio del 2020, ante el honorable jurado:**

.....  
**Ing. M. Sc. Enrique Napoleón Martínez Quiroz**

**Presidente**

.....  
**Ing. Iván Gustavo Reátegui Acedo**

**Secretario**

.....  
**Ing. M. Sc. Juvenal Vicente Díaz Agip**

**Vocal**

.....  
**Ing. Carlos Enrique Chung Rojas**

**Asesor**

## Declaratoria de autenticidad

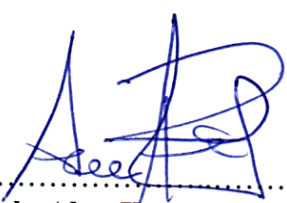
**Alex Jhonatan Ramírez Tecco**, con DNI N° 47682971, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la Tesis titulada: **Uso de barreras dinámicas en áreas con amenaza de caída de rocas para mitigación de riesgo en zona vial urbana en la Alameda Shilcayo en la ciudad de Tarapoto, provincia de San Martín, departamento de San Martín.**

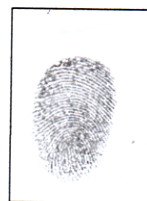
Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mí accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 21 de julio del 2020.

  
.....  
**Bach. Alex Jhonatan Ramírez Tecco**  
DNI N° 47682971




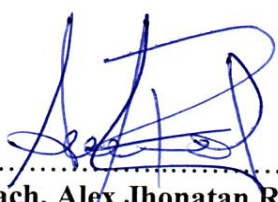


## **Declaratoria jurada**

**Alex Jhonatan Ramírez Tecco**, con DNI N° 47682971, domicilio legal en la Av. Aviación N° 263 – Tarapoto, a efecto de cumplir con las Disposiciones Vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, **Declaro bajo juramento**, que todos los documentos, datos e información de la presente tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional y/o informe de Ingeniería, son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos lo dispuesto en las Normas Académicas de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 21 de julio del 2020.



---

**Bach. Alex Jhonatan Ramírez Tecco**  
DNI N° 47682971

**Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres: RAMIREZ TECCO ALEX JHONATAN	
Código de alumno : 97682971	Teléfono: 993293823
Correo electrónico : RATEC.2102@GMAIL.COM	DNI: 77682971

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de: INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de:  INGENIERIA CIVIL

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título : "Uso de Barreras Dinámicas en áreas con amenaza de caída de rocas para mitigación de riesgo en zona vial urbana en la Alameda Shilcayo en la Ciudad de Tarapoto, provincia de San Martín, departamentos de San Martín."
Año de publicación: 2020

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:


**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

## 7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI “**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**”.

  
Firma y huella del Autor

## 8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

07 / 08 / 2020

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - T.  
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e  
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.  
  
Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea  
Responsable

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## Dedicatoria

A **Juan Luis y Wilma Amanda**,  
mis abuelos, por haberme brindado  
la oportunidad de tener una  
excelente educación, y sobre todo  
por sus esfuerzos y su apoyo  
incondicional en todos mis  
proyectos y metas.

A **mi familia** por todo el apoyo  
brindado, por la estancia, la  
comprensión y la índole  
moralizadora de pequeñas  
situaciones de mi vida que  
cambiaron mi forma de apreciar  
las cosas para ejercer el bien.

## **Agradecimiento**

A la Universidad Nacional De San Martín – Tarapoto por haberme albergado en su alma mater y haber cotejado mis estudios en cuanto a lo práctico, teórico y laboral durante mi formación profesional.

A mí familia por contribuir en mi formación como persona, por los principios y valores inculcados, las metas y las motivaciones constantes en este largo camino de la vida para poder alcanzar los anhelos, que demuestra el orgullo de ustedes.



## Índice

	Pág.
Dedicatoria .....	vi
Agradecimiento .....	vii
Índice.....	viii
Índice de tablas .....	xii
Índice de figuras .....	xiv
Índice de fotografías .....	xviii
Resumen.....	xx
Abstract.....	xxi
Introducción.....	1
Formulación del Problema.....	1
Justificación de la Investigación.....	2
Hipotesis a Demostrar... ..	2
Objetivos... ..	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos ... ..	3
Resumen de la estructura del proyecto de investigación... ..	3
CAPÍTULO I.....	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1. Antecedentes de la investigación.....	4
1.2. Marco Teórico .....	6
1.2.1 Caída libre y trayectoria de proyectiles.....	6
1.2.2 Teoría de choques .....	7
1.2.3 Mecánica de caída de rocas.....	8
1.2.4 Fallas en taludes de roca .....	9
1.2.5 Factores que afectan la falla.....	17
1.2.6 Caído de Rocas.....	20
1.2.7 Barreras contra caídos.....	27
1.2.8 Cálculo del coeficiente de seguridad .....	31
1.3. Marco conceptual: Terminología Básica.....	32
1.3.1 Roca.....	32
1.3.2 Caída de rocas.....	32
1.3.3 Buzamiento.....	32

1.3.4 Mitigación de riesgo .....	32
1.3.5 Talud.....	33
1.3.6 Estabilidad .....	33
1.3.7 Deslizamientos .....	33
1.3.8 Barrera dinámica .....	33
1.3.9 Volcamiento .....	33
1.3.10 Energía traslacional ( $E_k$ ) .....	34
1.3.11 Energía rotacional ( $E_w$ ).....	34
1.3.12 Masa .....	34
1.3.13 Momento de inercia.....	34
1.3.14 Velocidad de caída .....	34
1.3.15 Velocidad angular de rotación.....	34
1.4 Marco Histórico.....	34
1.4.1 Primeras aplicaciones internacionales .....	35
1.4.2 Primeros ensayos en terreno.....	37
1.4.3 Guías de diseño.....	38
 CAPÍTULO II.....	 40
MATERIAL Y MÉTODOS .....	40
2.1. Materiales .....	40
2.1.1 Recursos Humanos .....	40
2.1.2 Recursos Materiales.....	40
2.1.3 Recursos de Equipos.....	40
2.1.4 Otros Recursos.....	40
2.2. Método.....	41
2.2.1 Universo y Muestra .....	41
2.3 Variables, Operacionalización.....	41
2.3.1 Sistema de Variables .....	41
2.4 Operacionalización de variables .....	42
2.5 Diseño de la investigación.....	42
2.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	43
2.6.1 Técnicas.....	43
2.6.2 Instrumentos de recolección de datos.....	44
2.7 Método de análisis de datos.....	44

2.7.1 Programa Rocfall.....	44
2.7.2 Programa Google Earth Pro.....	44
2.7.3 Programa AutoCAD 2019-English.....	44
2.7.4 Programa Global Mapper .....	45
2.8 Procesamiento de la información .....	45
2.8.1 Reconocimiento del lugar.....	45
2.8.2 Características Geológicas.....	46
2.8.3 Vegetación existente.....	46
2.8.4 Estudio Topográfico .....	46
2.8.5 Estudio de mecánica de suelos y geotecnia.....	48
2.8.6 Programa Rocfall.....	51
2.8.7 Identificación de los riesgos .....	55
2.8.8 Áreas de riesgo estudiadas.....	57
2.8.9. Patrones de posibles rutas de deslizamientos .....	59
2.8.10. Dimensiones de las rocas.....	59
2.8.11. Método de falla.....	61
2.8.12. Análisis de las pendientes.....	61
2.8.13. Coeficiente de restitución .....	62
2.8.14. Simulación de la caída de rocas.....	63
CAPÍTULO III .....	67
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	67
3.1 Resultados.....	67
3.1.1. Resultados del estudio topográfico.....	67
3.1.2. Resultados del estudio de mecánica de suelos y geotecnia .....	69
3.1.3. Resultados del programa Rocfall v 4.0.....	72
3.1.4. Dimensionamiento de la barrera.....	79
3.1.5. Determinación para una barrera de 500 KJ en el Mercado .....	80
3.1.6. Descripción de la barrera dinámica RXE-500-LA .....	81
3.2 Análisis y Discusión de Resultados.....	85
3.2.1 Análisis de resultados de los mayores impactos en la barrera <i>RXE-500-LA</i> .....	85
3.2.2. Análisis de la Barrera RXE-500-LA .....	85
3.2.3. Verificación de las longitudes de Anclaje .....	93
3.2.4. Verificación de las pendientes.....	93

3.2.5. Factor de Seguridad.....	94
3.2.6. Parámetros para instalación de la Barrera RXE-500-LA .....	95
3.2.7. Proceso de Instalación de la Barrera Dinámica.....	97
3.2.8. Contrastación de la Hipótesis .....	103
CONCLUSIONES.....	104
RECOMENDACIONES .....	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	106
ANEXOS.....	108
Anexo A: Coeficientes de restitución en función del material del talud. ....	109
Anexo B: Resultados del Estudio de Mecánica de Suelos. ....	111
Anexo C: Resultados y procesamiento de datos obtenidos del Software Rocfall v4.0. ....	124
Anexo D: Constancia de ejecución de ensayos de Laboratorio de Mecánica de suelos y Pavimentos UNSM FICA. ....	151
Anexo E: Documento de Autorización por parte de la Municipalidad Provincial de San Martín para la realización del presente proyecto de tesis .....	152
Anexo F: Panel fotográfico.....	153
Anexo G: Planos .....	162

## Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Conclusiones del trabajo de investigación (Andrés, Álvarez,2011).....	10
Tabla 2. Modos de falla de macizos de roca fracturada .....	10
Tabla 3. Parámetros que determinan el comportamiento de caída de rocas.....	21
Tabla 4. Coeficientes de restitución energética en función del material de talud .....	23
Tabla 5. Criterios de diseño de atrape de bloques de roca .....	24
Tabla 6. Componentes de una barrera contra caídos .....	29
Tabla 7. Comparación entre guías de diseño .....	39
Tabla 8. Ensayos de laboratorio realizados .....	50
Tabla 9. Simbología de los suelos (referencial) .....	50
Tabla 10. Parámetros de ingreso.....	54
Tabla 11. Dimensiones de las rocas encontradas .....	59
Tabla 12. Valorización de vulnerabilidad y condición de alerta .....	61
Tabla 13. Falla por caídos.....	61
Tabla 14. Colorimetría del análisis de pendientes .....	61
Tabla 15. Categorización de las pendientes.....	62
Tabla 16. Valores de coeficiente de restitución aplicables al caso de estudio .....	62
Tabla 17. Resumen de los resultados de mecánica de suelos .....	71
Tabla 18. Ubicaciones óptimas para la barrera según el perfil.....	75
Tabla 19. Análisis de posibles ubicaciones de la barrera .....	75
Tabla 20. Determinación de los máximos parámetros para el dimensionamiento de la barrera .....	79
Tabla 21. Datos para el dimensionamiento de la barrera .....	79
Tabla 22. Clases de kit de protección contra caída de rocas .....	80
Tabla 23. Determinación de la energía de la barrera usando el diseño MEL Y SEL.....	80



Tabla 24. Barrera Dinámica RXE-500-LA / Productor: Geobruigg.....	80
Tabla 25. Verificación de la barrera por medio del diseño MEL .....	80
Tabla 26. Resumen del análisis de los impactos en la barrera RXE-500-LA .....	85
Tabla 27. Altura Residual de acuerdo al modelo de Barrera.....	86
Tabla 28. Resistencia típica en función al tipo de material .....	92
Tabla 29. Longitud final de los anclajes.....	93
Tabla 30. Longitud de anclajes de los pernos.....	93
Tabla 31. Verificación de pendientes según manual de instalación .....	94
Tabla 32. Cálculo del factor de seguridad por el método tradicional.....	94
Tabla 33. Referencia de los parámetros establecidos para la instalación .....	95
Tabla 34. Resumen de los parámetros para correcta instalación de la barrera RXE-500-LA.....	96

## Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Diagrama de Cuerpo Libre.....	7
Figura 2. Falla Planar.....	11
Figura 3. Falla en Cuña.....	12
Figura 4. Falla por Volcamiento.....	13
Figura 5. Condición cinemática de la falla a flexión. ....	14
Figura 6. Dirección y Buzamiento de un talud. ....	15
Figura 7. Nomenclatura para la orientación de planos de falla. ....	15
Figura 8. Estereofasilla para analizar la falla por pandeo.....	17
Figura 9. Estereofasilla para analizar la falla por volcamiento. ....	17
Figura 10. Diagrama de cuerpo libre de un bloque en análisis.....	19
Figura 11. Condiciones de deslizamiento y volcamiento de bloques de roca. ....	19
Figura 12. Angulo de impacto definido como una función de las propiedades del talud. ..	21
Figura 13. Disipación de la energía tras el choque.....	22
Figura 14. Soluciones estáticas ante caída de rocas. ....	23
Figura 15. Trayectoria de bloques a lo largo de distintos tipos de taludes.....	24
Figura 16. Barreras Dinámicas, solución contra caída de rocas.....	25
Figura 17. Sistema de retención, mallas ancladas. ....	26
Figura 18. Control de caídos utilizando mallas ancladas. ....	27
Figura 19. Altura residual de una barrera.....	28
Figura 20. Vista lateral de una barrera contra caídos. ....	30
Figura 21. Vista trasera de una barrera contra caídos.....	30
Figura 22. Componentes de una barrera dinámica. ....	30
Figura 23. Galería de protección contra rodados.....	35

Figura 24. Red de prevención contra avalanchas, con armazón de madera. ....	35
Figura 25. Rocas sobre estructura retenedora de avalanchas en Suiza, 1961.....	36
Figura 26. Primeras pruebas en barreras con redes de cable de acero.....	36
Figura 27. Propuesta de las primeras pantallas para el control de caída de rocas. ....	37
Figura 28. Ensayos en caída libre Birr, 1975. ....	38
Figura 29. Ubicación Geográfica de la zona estudiada. ....	45
Figura 30. División de la zona estudiada.....	57
Figura 31. Análisis de pendientes.....	61
Figura 32. Colocación de las coordenadas en el programa. ....	63
Figura 33. Colocación del tipo de material del talud.....	64
Figura 34. Colocación del material a cada segmento del talud. ....	64
Figura 35. Colocación de la ubicación inicial de la roca.....	64
Figura 36. Colocación de masa y velocidad en condiciones iniciales de la roca. ....	65
Figura 37. Ubicación de las barreras acorde al análisis requerido. ....	65
Figura 38. Colocación de los parámetros finales previo al análisis.....	66
Figura 39. Trayectoria de la roca en el proceso de simulación. ....	66
Figura 40. Gráfico proveniente de la corrida del programa. ....	66
Figura 41. Perfil topográfico de la sección 1.....	67
Figura 42. Perfil topográfico de la sección 2.....	67
Figura 43. Perfil topográfico de la sección 3.....	67
Figura 44. Perfil topográfico de la sección 4.....	68
Figura 45. Perfil topográfico de la sección 5.....	68
Figura 46. Perfil topográfico de la sección 6.....	68
Figura 47. Perfil topográfico de la sección 7.....	68
Figura 48. Perfil topográfico de la sección 8.....	69

Figura 49. Perfil topográfico de la sección 9.....	69
Figura 50. Curva Granulométrica de la C-01/ M-II (0.60-1.00 m) .....	69
Figura 51. Curva Granulométrica de la C-01/ M-III (0.10-1.30 m) .....	70
Figura 52. Curva Granulométrica de la P-01/ M-II (0.90-1.60 m).....	70
Figura 53. Perfil estratigráfico realizada en el área de estudio.....	70
Figura 54. Corrida para el Perfil 1.....	72
Figura 55. Corrida para el Perfil 2.....	72
Figura 56. Corrida para el Perfil 3.....	72
Figura 57. Corrida para el Perfil 4.....	73
Figura 58. Corrida para el Perfil 5.....	73
Figura 59. Corrida para el Perfil 6.....	73
Figura 60. Corrida para el Perfil 7.....	74
Figura 61. Corrida para el Perfil 8.....	74
Figura 62. Corrida para el Perfil 9.....	74
Figura 63. Comportamiento de la energía de llegada en la Zona 1. ....	77
Figura 64. Comportamiento de la velocidad de llegada en la Zona 1. ....	77
Figura 65. Comportamiento de la energía de llegada en la Zona 2. ....	77
Figura 66. Comportamiento de la velocidad de llegada en la Zona 2. ....	78
Figura 67. Comportamiento de la energía de llegada en la Zona 3. ....	78
Figura 68. Comportamiento de la velocidad de llegada en la Zona 3. ....	78
Figura 69. Barrera RXE-500-LA.....	81
Figura 70. Poste HEA 160.....	81
Figura 71. Placa Base. ....	82
Figura 72. Cables de acero. ....	82
Figura 73. Cables de refuerzo en panel de intercepción.....	82

Figura 74. Anillos de intercepción. ....	83
Figura 75. Malla Adicional.....	83
Figura 76. Grilletes.....	83
Figura 77. Sujetacables.....	84
Figura 78. Disipador de Energía.....	84
Figura 79. Anclaje de cable espiral. ....	84
Figura 80. Replanteo de ubicación de la barrera dinámica con wincha y estacas. ....	97
Figura 81. Marcación de los puntos para los postes con wincha y pintura. ....	97
Figura 82. Marcado de puntos para la perforación en talud. ....	98
Figura 83. Marcado de puntos para la perforación de los postes. ....	98
Figura 84. Perforación de los puntos de anclaje para el poste.....	98
Figura 85. Perforación de los puntos de anclaje para el talud. ....	99
Figura 86. Preparación de la mezcla; suelo / cemento. ....	99
Figura 87. Pernos autoperforantes $\varnothing=38$ mm. ....	99
Figura 88. Colocación de pernos y accesorios. ....	100
Figura 89. Construcción de los cimientos para soporte y protección de los postes. ....	100
Figura 90. Colocación de la placa base en los cimientos. ....	100
Figura 91. Colocación de los disipadores de energía. ....	101
Figura 92. Colocación de los sujeta cables.....	101
Figura 93. Izado de los postes. ....	101
Figura 94. Verificación de la unión entre el poste, placa base y el cimiento. ....	102
Figura 95. Colocación de la red de anillos y malla galvanizada. ....	102
Figura 96. Grilletes para la unión de la red de anillos con los cables horizontales.....	102
Figura 97. Fijación de la barrera y culminación del proceso de instalación. ....	103



## Índice de fotografías

	Pág.
Fotografía 1. Roca desprendida del talud. ....	46
Fotografía 2. Árbol con riesgo a desprenderse. ....	46
Fotografía 3. Extracción de muestras con el instrumento posteadora manual. ....	49
Fotografía 4. Caída de rocas en zona vial urbana en la Alameda Shilcayo.....	55
Fotografía 5. Caos vehicular ocasionado por la caída de rocas. ....	56
Fotografía 6. Distancia entre el primer carril y el talud.....	56
Fotografía 7. Distancia entre el segundo carril y el talud. ....	56
Fotografía 8. Mediciones de las rocas encontradas. ....	57
Fotografía 9. Presencia de árboles-zona1.....	57
Fotografía 10. Presencia de numerosas rocas-zona1.....	58
Fotografía 11. Presencia de vegetación y rocas impregnadas-zona 2. ....	58
Fotografía 12. Pendiente y rocas de gran dimensión encontradas-zona 3.....	58
Fotografía 13. Patrón de deslizamientos.....	59
Fotografía 14. Extracción de muestra en P-01, con el instrumento posteadora. ....	153
Fotografía 15. Muestra inalterada obtenida por el instrumento, profundidad 1.50 m. ....	153
Fotografía 16. Extracción de muestras en la Calicata 01. ....	154
Fotografía 17. Muestra de Arena limosa-Arcillosa encontrada en la C-01.....	154
Fotografía 18. En cada calicata se midió la altura de los estratos. ....	155
Fotografía 19. Se hizo la limpieza en los puntos, para la excavación. ....	155
Fotografía 20. El personal técnico nos ayudó con el equipamiento y la extracción de las muestras. ....	156
Fotografía 21. En las calicatas 02 y 03 se encontró formación rocosa a 1 m de profundidad. ....	156

Fotografía 22. Las muestras extraídas fueron derivadas al laboratorio de mecánica de suelos de la UNSM. ....	157
Fotografía 23. Las muestras se colocaron en los recipientes para su posterior pesaje. ....	157
Fotografía 24. Se tomó nota del peso de cada recipiente, luego puestas en el horno para determinar el contenido de humedad. ....	158
Fotografía 25. Se hizo el lavado de la muestra por la malla N° 200 para no tener impurezas .....	158
Fotografía 26. La muestra libre de impureza fue llevada al horno para su secado. ....	159
Fotografía 27. Después se procedió a pesar la muestra seca. ....	159
Fotografía 28. Se removi6 manualmente por el juego de tamices.....	160
Fotografía 29. Se anot6 el pesaje de muestra retenida en cada tamiz, para la posterior clasificaci6n del suelo. ....	160
Fotografía 30. Una porci6n de muestra fue secada al sol, luego saturada para los ensayos de l6mites de Atterberg. ....	161
Fotografía 31. Se extrajo un bloque de muestra inalterada para el ensayo de corte directo. ....	161

## Resumen

La presente investigación nace debido a los antecedentes de acontecimientos ocurridos en el área de estudio, tales como desprendimiento de rocas que pusieron en riesgo diversos aspectos de la zona como: la infraestructura vial, infraestructura vehicular y lo más importante, está en peligro la vida humana. En este sentido, se propone el uso de barreras dinámicas para el control de caída rocas y con ello mitigar la amenaza de riesgo presente. De esta manera como objetivo principal del proyecto, se pone en evaluación las características, componentes y dimensionamiento de la estructura. Para cumplir con este proceso, nos regimos a la Guía Europea de Aprobación Técnica (ETAG 027), así como a los resultados del estudio de mecánica de suelos, del trabajo de campo y gabinete, y a los datos obtenidos de la simulación en el software Rocfall v.4.0, los cuales por medio de gráficos nos muestra el comportamiento de la energía cinética total, velocidades traslacionales y rotacionales, que fueron analizados por medio de iteraciones, para así determinar el Máximo Nivel de Energía de diseño (MEL) requerido para el dimensionamiento de la estructura, obteniendo como resultado la barrera RXE-500-LA de Geobrugg, con 500 KJ de absorción de energía, para contención de bloques de  $1.75 \text{ m}^3$ , con 5 ton de peso, impactando a una velocidad de 11.25 m/s. La estructura tendrá una instalación a lo largo de 100 metros lineales, cubriendo así el 71.43% del tramo total en el área estudiada.

**Palabras clave:** caída, rocas, mitigación, dimensionamiento, barrera dinámica.

## Abstract

This research was originated by the background of events in the area of study, such as the rockfalls that endangered various aspects of the area such as: road infrastructure, vehicle infrastructure and the most worrying, it could endanger human life. In this regard, the use of dynamic barriers is proposed in order to control the rockfalls and mitigate the hazards and risks. In this way, the main objective of the project, the characteristics, components and dimensioning of the structure is tested. To comply with the process, we followed procedures from the European Technical Approval Guide (ETAG 027), as well as the results of the study of soil mechanics, the field and the office work and the data obtained from the Rockfall software simulation v.4.0, according to the graphs we can observe the total kinetic energy behavior, translational and rotational speed, which were analyzed through iterations, to determine the Maximum Design Energy Level (MEL) required for the dimensioning of the structure, obtaining as a result the barrier Geobrugg RXE-500-LA, with 500 kilojoules of energy absorption, to contain blocks of  $1.75 \text{ m}^3$ , with 5 tons weight, impacting at a speed of 11.25 meters per second. The structure will have an installation 100 linear meters along, thus covering 71.43% of the total section in the study area.

**Key words:** Rockfalls, mitigation, dimensioning, dynamic barrier.



## **Introducción**

En la ciudad de Tarapoto, específicamente en la Alameda Shilcayo, se tiene registro de desprendimientos de rocas debido a factores climatológicos. El 28 de abril del 2015 se reportó la caída de dos grandes rocas lo que ocasionó el bloqueo por más de 2 horas del tránsito y el acceso hacia el puente Shilcayo, que es la vía principal a la entrada y salida al distrito de la Banda de Shilcayo.

Asimismo, el reporte más reciente fue el 23 de enero del 2020 donde se produjo de igual manera el desprendimiento de rocas de la Alameda Shilcayo, ocasionando un congestionamiento en las vías alternas, inmediatamente la municipalidad tomó las medidas adecuadas para realizar el mantenimiento y aperturar nuevamente la calle que tiene un tránsito bastante fluido.

Acontecimientos como los ocurridos nos muestran que el riesgo en la zona está latente hasta el día de hoy, puesto que a pesar de los incidentes no se ha tomado medidas de protección lo que nos deja expuestos ante un nuevo desastre que podría pasar tener consecuencias fatales ya que al flujo vehicular en la zona fue aumentando con el transcurrir de los años y la probabilidad que un desprendimiento colisione con algún vehículo son muy altas.

Sim embargo el problema principal recae en el riesgo de pérdida de vida humana, no solo por el factor del alto flujo vehicular presente en la zona, sino también por la presencia de viviendas en la parte baja de la vía lo cual incrementa de manera exponencial la amenaza de riesgo ocasionado por estas caídas de rocas.

Dado que conocemos las causas y consecuencias que puede ocasionar un evento de caída de rocas, en esta investigación se busca identificar de manera objetiva un escenario representativo, que sirva como punto de partida para tener conocimiento y asimismo la aplicación de nuevos métodos de protección en los distintos taludes que existen en nuestra ciudad.

### **Formulación del problema**

Se formula la siguiente pregunta: ¿Cuál es el aporte en el uso de barreras dinámicas para la mitigación de riesgos en zona vial urbana en áreas bajo amenaza de caída de rocas en la



Alameda Shilcayo, en el distrito de Tarapoto, provincia de San Martín, departamento de San Martín?

### **Justificación de la investigación**

La inexistencia de indicadores precursores que alerten acerca de cuándo se producirá el próximo desprendimiento, así como la imposibilidad de escapar de un desprendimiento debido a su velocidad de desplazamiento obliga a adoptar una serie de medidas preventivas para evitar una catástrofe de considerables dimensiones.

La estructura de mitigación de riesgo contra caída de rocas se plantea tanto como una medida preventiva, como una medida correctiva. Cuando existe un talud natural o ladera y bajo un análisis de probabilidad; se procede al uso de las barreras dinámicas con el fin de detener cualquier evento con cierta probabilidad de ocurrencia. De manera similar, este sistema de protección es implementado en taludes que presenten un riesgo latente y, dónde, quizás la propuesta de construcción de una obra de mayor envergadura no pueda ser tomado como opción debido a lo accidentado del terreno o al gasto económico que pueda generar, tenemos muchas zonas en nuestra ciudad donde quizás antes no existían caídas de roca, pero tras cierto tiempo la meteorización e influencia de diferentes factores, pueden dar origen a desastres y desprendimientos ocasionando así nuevos riesgos los cuales pueden afectar a la población de nuestra ciudad.

El constante flujo vehicular bajo la alameda Shilcayo hace de ello uno de los principales motivos para optar por una medida que ayude en la protección de la vía salvaguardando los intereses estructurales y sobre todo humanos que se pueden presentar en un escenario de derrumbe, como ya se tiene registro de lo ocurrido en años anteriores. Es por ello que plantear una opción para prevenir estos desastres en nuestra ciudad es importantes y sirven como punto de partida para conocer nuevos métodos que se puedan aplicar como solución tanto estructural y económica a los distintos escenarios de riesgos que se puedan presentar en nuestra ciudad.

### **Hipótesis a Demostrar**

El uso de las Barreras Dinámicas, permitirá mitigar el riesgo en áreas con amenaza de caída de rocas en zona vial urbana en la Alameda Shilcayo en la ciudad de Tarapoto, Provincia de San Martín, Departamento de San Martín.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Evaluar el funcionamiento de las barreras dinámicas como propuesta para mitigación de riesgos en áreas con amenaza de caída de rocas en la zona vial urbana en la Alameda Shilcayo, en la ciudad de Tarapoto, Provincia de San Martín, Departamento de San Martín.

### **Objetivos específicos**

Realizar los estudios básicos de mecánica de suelos y de topografía.

Interpretar los resultados de los estudios básicos para la complementación del análisis mediante el programa Rocfall v 4.0.

Interpretar los resultados del análisis del programa Rocfall v 4.0 mediante gráficos e interpolar para obtener los valores exactos necesarios para el dimensionamiento de la barrera.

Dimensionar una barrera contra caída de rocas como alternativa de solución.

### **Resumen de la estructura del proyecto de investigación**

Capítulo I (Revisión Bibliográfica): Por medio de la revisión bibliográfica y antecedentes se desarrollarán las definiciones necesarias para la investigación, marco teórico sobre barreras dinámicas, mecanismo de caída de rocas, guías de diseño, marco histórico.

Capítulo II (Materiales y Métodos): En este capítulo se describen los procesos para alcanzar los objetivos planteados, descripción de la metodología que se realizará en la presente investigación: tipo de investigación, diseño de investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos, técnicas de procesamiento y análisis de datos. Se indicarán los materiales, equipos involucrados en la investigación.

Capítulo III (Resultados y Discusión): En este capítulo se presentarán los resultados, datos obtenidos del estudio. Se analizará e interpretarán los resultados teniendo como base los objetivos planteados. Mediante tablas comparativas y gráficos se realizarán dichos análisis basándonos en criterios como: propósito del estudio, ensayos realizados, normativa de diseño, dimensionamiento de la barrera, análisis y verificaciones. Para finalizar sus conclusiones y recomendaciones que se darán a partir de los resultados encontrados

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Antecedentes de la investigación

Para la realización del presente trabajo de se ha revisado material bibliográfico y trabajos anteriores que nos permitirá tomar nota de antecedentes y resultados que se estará teniendo en cuenta para los fines más convenientes:

**Álvarez, A (2011)**, Análisis de la amenaza de caída de rocas a partir del estudio de huellas de impacto sobre carretera (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

**Tabla 1**

*Conclusiones del trabajo de investigación (Andrés Álvarez, 2011)*

Abscisa		L	E <sub>max</sub>	V	M
Inicial	Final	(m)	(kj)	(m/s)	(kg)
K 0+010	K 0+050	40	200	22.2	812
K 0+050	K 0+105	55	750	13.7	7992
K 0+105	K 0+128	23	1050	16.7	7530
K 0+128	K 0+150	22	2200	20.9	10073

Fuente: Resultados (Andrés Álvarez, 2011)

**Valerio, L (2012)**, Barreras Dinámicas a base de materiales convencionales para el control de caída de rocas (Tesis para obtener título profesional de Ingeniero Civil). Universidad Nacional Autónoma de México, D, F.

Conclusiones de la investigación:

Fue posible analizar y determinar los materiales existentes en el mercado nacional, los cuales tienen la capacidad de ser empleados en la construcción de la barrera dinámicas.

A grandes rasgos; el presupuesto presentado para el desarrollo y construcción de la barrera, se mostró bastante favorable, desde luego considerando las limitaciones que se hicieron en el Capítulo V.

Con la propuesta de diseño y construcción de la barrera, se logró plantear una posible solución para mitigar la caída de rocas en la C.H. Zimapán.

El empleo de software durante la simulación y diseño de la barrera, fue de importante ayuda, disminuyendo tiempos de cálculo y la posibilidad de plantear opciones para diferentes casos de taludes y de materiales.

**Berrocal, D (2015)**, Uso de barreras contra caídos en Costa Rica (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Universidad de Costa Rica.

Conclusiones de la investigación:

Las características del talud en estudio se resumen a continuación. La pendiente media del talud en estudio es de  $60^\circ$ , el coeficiente de restitución normal para el talud en estudio es de 0.33 mientras que el coeficiente de restitución tangencial es de 0.82, la dimensión del bloque promedio es de  $1 \text{ m}^3$ , con un peso volumétrico de  $2700 \text{ kg/m}^3$ .

Se requiere una barrera de 2000 KJ con una altura nominal de 4.0 m.

Se asegura un factor de seguridad de al menos 1.77 (Método de Maccaferri), o bien de 1.5 con el método tradicional.

Se deben instalar dos barreras (con las características anteriormente descritas), en el sector oeste de 80 m de longitud y en el sector este de 75 m de longitud, con un traslape entre ellas de 10m.

La barrera del sector oeste debe ser colocada en la cota 822 msnm.

**Crispín, J (2017)**, Diseño, implementación y construcción de barreras dinámicas en la quebrada Carosio-Chosica (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

Conclusiones de la investigación:

Los tipos de barreras instaladas según su capacidad fueron:

UX100 de 100 KPa de resistencia pseudoestática y altura 4 m (1)

UX100 de 120 KPa de resistencia pseudoestática y altura 6 m (2)

UX100 de 180 KPa de resistencia pseudoestática y altura 6 m (1)

**Navarro, J (2018)**, Diseño de refuerzo y protección del talud superior de la vía Alameda Shilcayo - Cercado Tarapoto, con Geosintéticos (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto.

Conclusiones de la investigación

El análisis de la inestabilidad existente del talud con el método de equilibrio límite, mediante el método de Bishop, con el uso del programa MacStars W 4.0, nos dio como resultado un factor de seguridad tanto en las condiciones estáticas como pseudoestáticas, menores a los que determina la norma CE. 020, el cual indica que el talud existente es inestable. Para lo cual se planteó una solución práctica que refuerce el suelo.

## 1.2. Marco Teórico

### 1.2.1 Caída libre y trayectoria de proyectiles

La aceleración de la gravedad se puede considerar como constante debido a que la distancia de caída es relativamente pequeña comparada con el radio terrestre (6,400,000 m), su magnitud de la superficie terrestre es de  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

En la caída libre se puede aplicar las ecuaciones 1 y 2, donde se designa como eje Y la dirección de caída libre y tiene su valor positivo hacia arriba. Además, el valor de la aceleración de la gravedad se designa con la letra (g) y siempre va acompañada de un signo negativo, ya que ejerce su acción en sentido contrario.

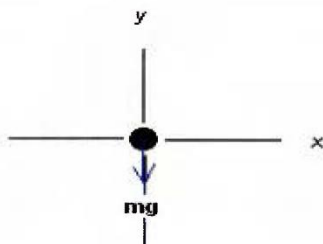
$$V_y = V_{oy} - gt \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$Y = Y_0 + V_{oy}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

El movimiento de proyectiles es un ejemplo común del movimiento en dos dimensiones cerca de la superficie terrestre. Para simplificar los cálculos se prescinde de la resistencia del aire por ser una fuerza no constante. La trayectoria de proyectiles se describe por medio de ecuaciones en dos ejes, ya que se desplaza tanto horizontalmente al eje coordenado como perpendicularmente con un ángulo determinado. Usualmente se determina el uso del eje coordenado convencional es decir el eje x positivo hacia la derecha y el eje y positivo hacia arriba. Convenientemente se determina que el origen del sistema se ubique en el lugar donde inicia el movimiento de la roca. (Resnik, Halliday, Krane & Stanley, 2008)

En la figura 1, se muestra el diagrama de cuerpo libre sobre una partícula en movimiento de proyectil. Como se puede observar la gravedad es la única fuerza que interviene cuando se desprecia el efecto de la resistencia del viento. “Es constante pues tiene una dirección descendente y la misma magnitud  $mg$  en todas partes de la trayectoria del proyectil, cualquiera que sea el lugar o la dirección del movimiento” (Resnik, Halliday, Krane &

Stanley, 2008), con dicho diagrama se evidencia que, en sentido perpendicular a la fuerza de la gravedad, no existe fuerza alguna.



**Figura 1.** Diagrama de Cuerpo Libre. (Fuente: Resnik Halliday, Krane & Stanley, 2008)

Por medio de la segunda ley de Newton se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$a_x = \frac{\sum F_x}{m} = 0 \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$a_y = \frac{\sum F_y}{m} = -g \quad (\text{Ecuación 4})$$

Ahora bien, para determinar la velocidad de la partícula y el punto en el cual se encuentra, es necesario obtener las ecuaciones por componentes. Para la velocidad se utiliza la ecuación general, para cada componente se aplica la aceleración determinada anteriormente en las ecuaciones 3 y 4.

$$v = v_0 + at \quad (\text{Ecuación 5})$$

La posición de la partícula se determina según las ecuaciones 6 y 7. Es evidente que la componente horizontal de la velocidad permanece constante durante todo el vuelo ya que no existen fuerzas que afecten la aceleración en esta componente. No sucede lo mismo para la componente vertical.

$$x = v_{0x}t \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$y = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (\text{Ecuación 7})$$

### 1.2.2 Teoría de choques

En una colisión, dos objetos ejercen fuerza uno sobre el otro durante un intervalo de tiempo medible. Según la tercera ley de Newton, las fuerzas de objetos en colisión son de igual magnitud y de dirección contraria. Para explicar la colisión entre dos cuerpos es preciso hacer referencia a la ecuación 8 sobre conservación del momento con la cual se puede determinar los movimientos antes y después de la colisión.

$$\vec{P}_{li} = m_1 \vec{v}_{1i} \quad (\text{Ecuación 8})$$

La ley de conservación del momento lineal expresa que “cuando la fuerza neta externa que actúa sobre un sistema es cero, su momento lineal total permanece constante”. De acuerdo con la conservación del momento, el momento total de los distintos cuerpos involucrados en la colisión es igual antes y después de la colisión, por lo tanto, se obtiene la siguiente expresión. Notar que son expresiones vectoriales.

$$m_1\vec{v}_{1i} + m_2\vec{v}_{2i} = m_1\vec{v}_{1f} + m_2\vec{v}_f \quad (\text{Ecuación 9})$$

En el caso de las barreras contra caída de rocas se pretende que la partícula y la barrera queden unidas después de la colisión, por lo que la ecuación 10 tiene una ligera diferencia ya que los dos objetos se desplazan con una velocidad común final.

$$m_1\vec{v}_{1i} + m_2\vec{v}_{2i} = (m_1 + m_2)\vec{v}_f \quad (\text{Ecuación 10})$$

### 1.2.3 Mecánica de caída de rocas

La caída de rocas es generalmente iniciada por efectos climáticos, fenómenos naturales (como los sismos), fenómenos artificiales que en el trasfondo se traducen en un cambio en las fuerzas que actúan sobre la roca, es decir, aumento de la presión de poro (por la infiltración), erosión de materiales circundantes, meteorización de rocas, entre otros ejemplos comunes.

Una vez que el desprendimiento sucede, el factor más relevante es la geometría del talud, no obstante, la superficie de caída de las rocas también juega un papel importante. La importancia del conocimiento de las propiedades de la superficie radica en la determinación del coeficiente de restitución.

La superficie de caída de las rocas provee un lapso de retardo según características propias de cada superficie. Para superficie duras inalteradas y limpias dicha capacidad es prácticamente nula por lo cual tienen mayor peligrosidad, aquellas superficies que cuenten con algún tipo de recubrimiento proporcionan un lapso de retardo mayor ya que absorben la energía de las rocas.

Es importante mencionar un tercer factor, el tamaño de la roca desprendida. Se considera que una roca tiene diámetro menor a 50 cm mientras que un bloque tiene un diámetro mayor a 50 cm (Gerber, 2001).

### 1.2.4 Fallas en taludes de roca

El tipo de falla se encuentra condicionado por el grado de fracturación del macizo rocoso, por la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud, quedando la estabilidad definida por los parámetros resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa. Dependiendo de la escala de las discontinuidades del macizo de roca puede ocurrir una falla localizada de bloques inestables que involucre volúmenes pequeños de material o fallas en gran escala que afecten taludes completos.

Cabe destacar que “en macizos rocosos duros o resistentes, las discontinuidades determinan la situación de los planos de rotura. En macizos formados por roca blanda poco competentes, la matriz rocosa también juega un papel importante en la generación de estos planos y en el mecanismo de rotura” (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Otuño & Oteló, 2002). Los modos de falla más comunes son: la falla planar, en cuña, por volcamiento, por pandeo, circular y caídos.

Para el análisis de fallas en macizos de roca se recomienda utilizar el siguiente procedimiento (Suarez, 2000):

- Determinar los grupos de juntas más “significativos”, evaluando su valor relativo dentro de la familia de las juntas, en cuanto a la posibilidad de ocurrencia de un movimiento.
- Para cada grupo determinar su orientación, buzamiento, espaciamiento, persistencia, abertura, resistencia al corte, etc. Con la orientación y el buzamiento es posible realizar un análisis por medio de técnicas de proyección estereográfica.
- Estudiar por medio de bloques en el espacio de diversas posibilidades de ocurrencia de fallas.
- Hacer el análisis de estabilidad de cada uno de los bloques identificados.

En todos los casos se debe estudiar la posibilidad de ocurrencia de fallas por corte, por volteo y fallas de grupos de bloques.

El modo de falla de un talud en roca depende principalmente de las características de las discontinuidades, orientación de los grupos de discontinuidades con relación a la fachada del talud, espaciamiento de las discontinuidades, resistencia al cortante de las paredes de las discontinuidades, persistencia de las discontinuidades.

En la tabla 1, se muestra los modos individuales de falla que pueden ocurrir en los macizos de roca fracturada, con una descripción y su respectiva observación.



**Tabla 2***Modos de falla de macizos de roca fracturada*

Modo de falla	Descripción	Observaciones
<b>Planar</b>	Discontinuidad buza hacia el frente del talud con un buzamiento mayor que el ángulo de fricción de la discontinuidad	Al desconfiar lateralmente un macizo puede desplazarse una masa de roca sobre una discontinuidad
<b>Cuña</b>	La línea de intersección de dos discontinuidades buza hacia la cara del talud, con un buzamiento significativamente mayor que el ángulo de fricción de las discontinuidades	Generalmente, son movimientos muy peligrosos, debido a que las superficies de deslizamiento poseen altas pendientes
<b>Volcamiento</b>	Bloques esbeltos tabulares formados por discontinuidades de alta pendiente con discontinuidades basales, con un buzamiento menor que el ángulo de fricción de la discontinuidad	Generalmente, requiere de tres sets de discontinuidades orientadas en tal forma que los bloques que se forman se encuentran semiparalelos a la fachada del talud
<b>Pandeo</b>	Grupos de discontinuidades de alta pendiente con espacios muy cercanos	Con frecuencia se produce por un movimiento gradual a una distancia de hasta cinco veces la altura del talud
<b>Circular</b>	La roca es blanda o extremadamente fracturada	Cuando el patrón de discontinuidades es aleatorio, las fallas son muy parecidas a las de un talud en suelo
<b>Caídos</b>	Bloques sueltos que pueden volcarse o deslizarse por caída libre a saltos o rodando	Se pueden predecir las trayectorias de los bloques, utilizando programas de software

Fuente: (Suarez, 2000)

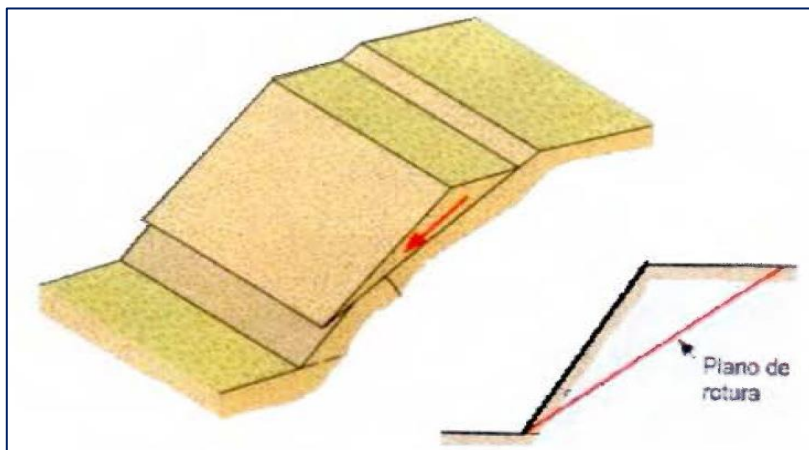
**1.2.4.1 Falla Planar**

La falla planar es la falla por desplazamiento de la roca sobre una discontinuidad. En esta falla una masa o un bloque de roca se mueve a lo largo de una superficie planar. Esta falla se puede analizar como una superficie recta.

Debe analizarse la proporción de discontinuidad intacta, separada o rellena y las propiedades de fricción y cohesión a lo largo de cada sector homogéneo de discontinuidad.

Deben existir dos condiciones básicas para que se de este tipo de falla, la presencia de discontinuidades con un buzamiento en sentido del talud, es decir a favor del mismo y que la falla sea lo suficientemente larga. Además, debe cumplir la condición que la

discontinuidad debe estar descalzada por el talud y que su buzamiento debe ser mayor que su ángulo de fricción interno. La falla se produce a favor de una superficie preexistente, a mayor espesor de la roca considerada la probabilidad de ocurrencia es menor (Giraud, Rochet & Antonie, 1990).



**Figura 2.** Falla Planar. (Fuente: González de Vallejo, Ferrer, Ortuño & Oteo, 2002)

El tipo de falla planar corresponde a mecanismos traslacionales y ocasionalmente rotaciones a lo largo de superficies estructurales más débiles, donde la resistencia al cortante es menor y existe susceptibilidad al desplazamiento.

Con el tiempo y a medida que se desarrolla el mecanismo de falla, el macizo pierde resistencia al cortante de forma progresiva, esto se puede dar por fenómenos de meteorización, aumento en las presiones de poro, en eventos sísmicos se produce agrietamiento de los materiales, licuación de los materiales de relleno en las discontinuidades o desplazamientos. La falla puede avanzar especialmente a lo largo de superficies donde anteriormente ocurrieron deformaciones como las fallas geológicas o superficies antiguas de deslizamientos.

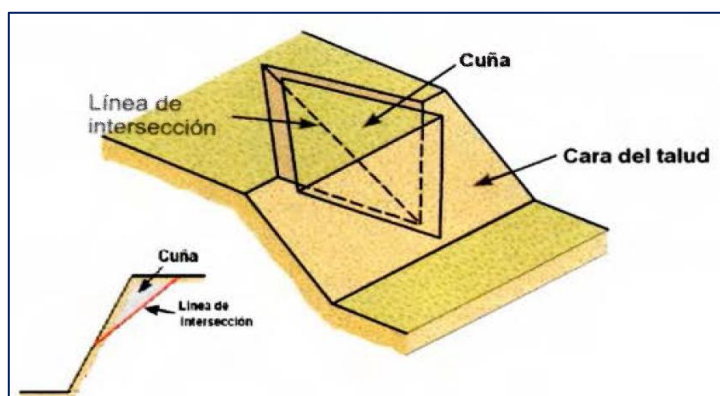
Para que el movimiento planar ocurra se deben cumplir las siguientes condiciones (Matherson, 1983):

- Las fronteras o límites laterales de la superficie a deslizar, deben oponer muy poca resistencia.
- El plano de la discontinuidad sobre la cual ocurriría el deslizamiento, debe tener una dirección aproximadamente paralela a la superficie del talud con un margen de  $\pm 20^\circ$  con la pendiente de la superficie.

- El plano de deslizamiento debe aflorar la superficie del talud o terminar en una grieta de tensión.
- El ángulo de buzamiento del plano de deslizamiento debe ser mayor que el ángulo de fricción interna de la superficie.

#### 1.2.4.2 Falla en cuña

Es un deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad, a favor de su línea de intersección, hacia afuera del talud.



**Figura 3.** Falla en Cuña. (Fuente: González de Vallejo, Ferrer, Ortuño & Oteo, 2002)

En estos casos se puede producir una falla, aun cuando los planos de discontinuidad sean independientemente estables. Para que ocurra este tipo de falla de cumplir las siguientes condiciones (Markland, 1972):

- La parte inferior de la línea de intersección entre los dos planos de cuña debe aflorar sobre la superficie del talud, arriba del pie del mismo.
- La parte superior de la línea de intersección entre los planos debe aflorar en la superficie de la cabeza del talud o terminar en una grieta de tensión.
- El buzamiento superior de la línea de intersección debe exceder los ángulos de fricción de los dos planos de deslizamiento.
- Los esfuerzos de cortante deben superar la resistencia conjunta de los planos que conforman la cuña.
- El ángulo de inclinación del talud debe ser mayor que el ángulo de la línea de intersección de los dos planos que conforman la cuña.

### 1.2.4.3 Falla por volcamiento

Se produce en taludes de macizos rocosos donde los estratos presentan buzamiento contrario a la inclinación del talud y dirección paralela o sub-paralela al mismo. En general, los estratos aparecen fracturados en bloques a favor de sistemas de discontinuidades ortogonales entre sí. Este tipo de rotura implica un movimiento de rotación de bloques, y la estabilidad de los mismos no está únicamente condicionada por su resistencia al deslizamiento.



**Figura 4.** Falla por Volcamiento. (Fuente: González de Vallejo, Ferrer, Ortuño & Oteo, 2002)

De forma general en el largo plazo, la falla por volcamiento termina formando un sistema de fracturas que se desarrolla y extiende progresivamente en la base de los bloques volcados, la cual se convierte en una superficie de falla. “Esta superficie de falla facilita un proceso de falla planar o rotacional, la cual combinada con el volteo genera una cinemática en toda la masa de deslizamiento”. (Suárez,2000).

Por medio de la orientación en el espacio de los varios grupos de discontinuidades y conociendo la resistencia al cortante, se puede determinar la resistencia a lo largo de un plano específico de falla.

Este tipo de falla da origen a los caídos de rocas. Según se puede apreciar en la Figura 4, en la imagen del lado izquierdo el desprendimiento se da en forma de bloques. En el proceso de análisis del caso de estudio se espera que el modo de falla sea por volcamiento.

### 1.2.4.4 Falla por pandeo

La falla se produce a favor de planos de estratificación paralelos al talud con un buzamiento mayor que el ángulo de fricción. La falla puede producirse con o sin flexión del estrato; la condición necesaria es que los estratos sean suficientemente esbeltos, en relación con la altura del talud para producir la falla por pandeo.

Según González de Vallejo et al. (2002) las razones principales por las cuales sucede este tipo de falla son: la altura excesiva del talud, existencia de fuerzas externas aplicadas sobre los estratos, geometría desfavorable de los estratos, existencia de presiones de agua sobre los estratos y la concentración desfavorable de tensiones. Este tipo de fallas es común en rocas foliadas o con capas delgadas tales como las lutitas, las pizarras o esquistos (Suarez, 2000).

Los criterios para que ocurran estas fallas incluyen el deslizamiento a flexión entre las capas de roca con espaciamentos muy cercanos, las fracturas con buzamientos fuertes deben estar en un estado de límite de equilibrio. Para que ocurra el equilibrio límite se requiere que, (en la Figura 5 se muestra un diagrama):

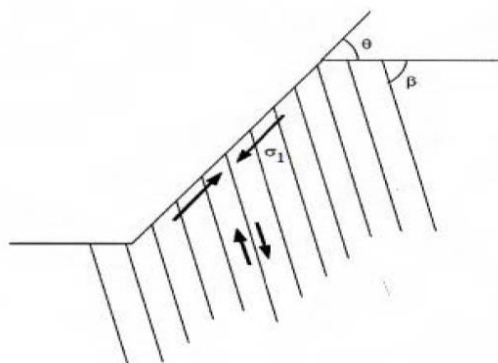
$$(90-\beta) \leq \theta - \phi \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

B: Es el ángulo de las discontinuidades

$\Theta$ : Es el ángulo del talud

$\Phi$ : Es el ángulo de fricción



**Figura 5.** Condición cinemática de la falla a flexión. (Fuente: Suárez, 2000)

Esta falla puede ocurrir cuando la dirección de las discontinuidades con buzamientos fuertes, se encuentra alejada hasta  $30^\circ$  de la dirección de la fachada del talud y es mayor la probabilidad de que ocurra este fenómeno cuando la diferencia entre las dos direcciones es menor de  $15^\circ$ .

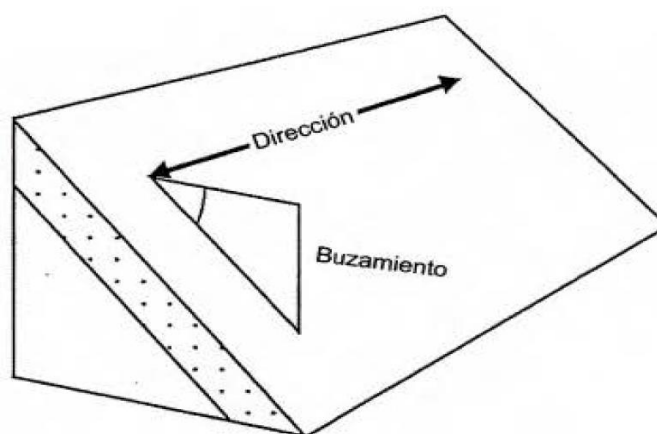
#### 1.2.4.5 Análisis por medio de técnicas de proyección estereográfica

Para determinar el modo de falla de un talud existe un método de análisis llamado proyección estereográfica. Con el fin de realizar el análisis con las técnicas de proyección estereográfica es necesario medir y registrar la orientación de las estructuras del talud. En general se deben medir tres distintos aspectos: la dirección, el buzamiento y la dirección del buzamiento.

La dirección (o rumbo) de la estructura es la orientación en la brújula de la línea en el plano que está horizontal y no se inclina en absoluto. Esta línea horizontal en el plano se ubica por medio de un nivel o dispositivo para medir ángulos y su rumbo se determina con una brújula.

El buzamiento de la estructura es el ángulo de la pendiente del plano. Un plano horizontal tiene un buzamiento de  $0^\circ$ ; un plano vertical buza  $90^\circ$ . El buzamiento también se mide con el clinómetro, pero con una orientación en el plano en ángulo recto con la línea de dirección.

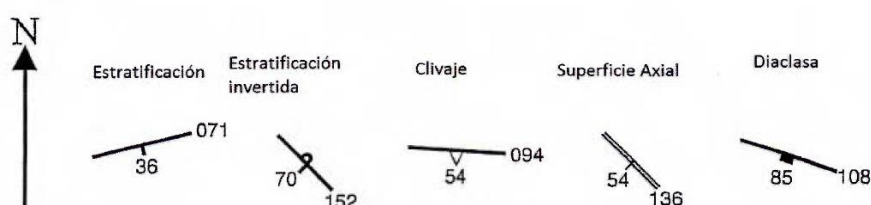
La dirección de buzamiento se expresa con uno de los ocho puntos cardinales (N, S, E, O, NO, NE, SO, SE). La dirección del buzamiento es la dirección de la máxima pendiente hacia abajo y está en ángulo recto con la dirección. (Lisle & Leyshon, 2004).



**Figura 6.** Dirección y Buzamiento de un talud. (Fuente: Lisle & Leyshon, 2004)

En la figura anterior se evidencia la estratificación, la dirección, el buzamiento y la dirección del buzamiento. Cuando se registra la orientación en forma escrita se combinan de los tres puntos anteriormente citados, en una sola expresión: dirección, buzamiento, dirección del buzamiento. Utilizando como ejemplo la Figura 6 y asumiendo que la dirección es en sentido N-S, su orientación aproximada podría ser 080/135E.

Según define (Lisle & Leyshon, 2004) la nomenclatura para realizar los levantamientos se encuentra definida en la siguiente figura, en esta se muestra una imagen tomada de dicho texto.



**Figura 7.** Nomenclatura para la orientación de planos de falla. (Fuente: Lisle & Leyshon, 2004)

La estratificación es una estructura planar visible en la mayoría de las rocas sedimentarias. Este es un rasgo primario formado en el momento de la deposición y es una disposición en capas que se caracteriza por la composición, las variaciones texturales o el tamaño del grano. “Algunas rocas ígneas poseen una estructura equivalente llamada estratificación magma” (Lisle & Leyshon, 2004). La orientación de estas estructuras planares primarias refleja los mecanismos de los procesos de deposición y las medidas de su orientación puede ofrecer información sobre la paleo-horizontalidad, la dirección del flujo de corrientes, entre otros.

Las fallas son planos a lo largo de los cuales la roca de un lado es desplazada en relación con la del otro lado. Recogiendo, en una región, los datos de dirección de varios planos de falla a veces es posible estimar las direcciones de los principales ejes de tensión en el momento que ocurre la falla.

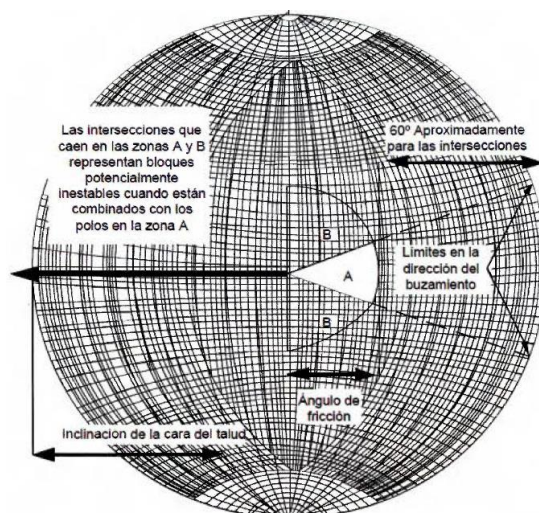
Las diaclasas son fracturas en rocas a lo largo de las cuales han tenido apenas o ningún movimiento. Aunque son producidas a causa tan solo de una tensión tectónica menor, representan discontinuidades en la masa de la roca y como tales son importantes en su comportamiento mecánico. La valoración de las orientaciones de las diaclasas presentes podría formar una parte esencial de cualquier análisis de estabilidad de la superficie de pendientes o en las excavaciones del subsuelo.

Las discontinuidades son planos de debilidad en las masas rocosas creadas por diaclasas, fallamientos, clivaje, entre otros. La presencia de discontinuidades tiene un efecto profundo en el total de la deformación de la masa rocosa y puede tener una fuerte influencia en términos de estabilidad. La proyección estereográfica proporciona una forma útil de visualización de la orientación de pendientes rocosas en relación con los juegos de discontinuidades presentes. Esta relación hace posible evaluar el tipo de rotura que más probablemente pueda ocurrir.

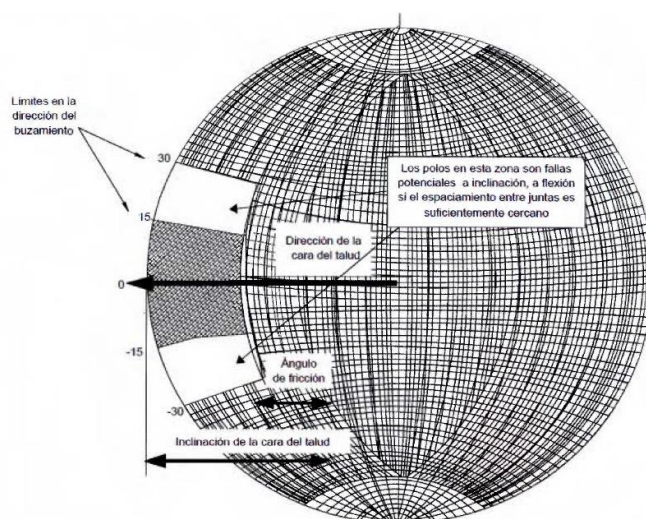
Tal como se ha mencionado anteriormente, el tipo de falla que propicia la caída de bloques de roca es la falla por volcamiento, volteo y la falla por pandeo. Según se mencionó en las secciones que describen las fallas por volcamiento y pandeo se debe cumplir con criterios de buzamiento específicos.

Estos criterios expresados en una estereofasilla se pueden visualizar en las siguientes figuras.





**Figura 8.** Estereofasilla para analizar la falla por pandeo. (Fuente: Matherson, 1983)



**Figura 9.** Estereofasilla para analizar la falla por volcamiento. (Fuente: Matherson, 1983)

El análisis que se realizará para determinar el modo de falla más probable del talud en estudio, se realizará el análisis por medio de estereofasillas. Además, se determinarán los polos, estos deben de caer en las zonas marcadas en las figuras anteriores. Si los polos determinados se encuentran dentro de las áreas mostradas anteriormente, indicara que el método de falla es el volcamiento causando caídos de bloques de roca.

### 1.2.5 Factores que afectan la falla

Según detalla (Suárez, 2000), el modo de falla es determinado por diferentes condiciones entre ellas la litografía y estructura de macizo, las presiones hidráulicas y la resistencia de las discontinuidades.



### 1.2.5.1 La litología y estructura

Las fallas en macizos rocosos están controladas por la interacción entre la estructura y la litología del macizo. Las interrelaciones generalmente son muy complejas y en ocasiones es difícil de predecir el comportamiento.

Los movimientos son generalmente progresivos, donde un movimiento genera otro y la falla se va extendiendo cada vez a una masa de mayor tamaño.

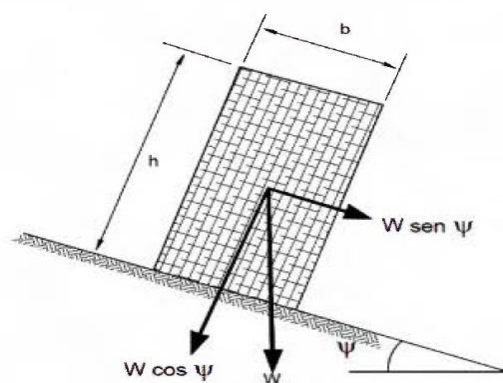
### 1.2.5.2 Condiciones para deslizamiento y volcamiento

Las grietas en los macizos rocosos son el resultado de deformaciones a gran escala en las cuales ocurre una relajación energética por lo que se producen separaciones de grandes bloques de roca. Se requiere caracterizar la grieta o conjunto de grietas para poder predecir su futuro comportamiento.

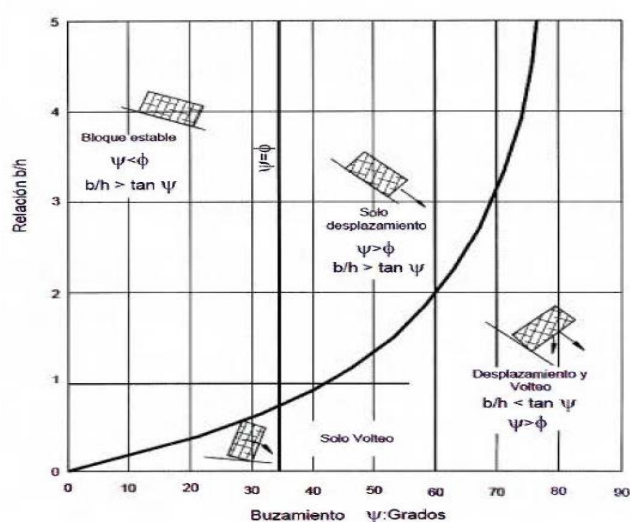
El análisis debe ser realizado en las tres dimensiones y si es necesario se deben instrumentar para determinar los esfuerzos de compresión y cortante a los cuales está siendo sometido el macizo, así como los cambios (temperatura, rotación de bloques, etc.) que le están ocurriendo al macizo en el momento actual.

A la hora de analizar un conjunto de discontinuidades en un macizo rocoso se debe tener en cuenta las diversas posibilidades de ocurrencia de volcamiento y/o deslizamientos, entonces se debe tener en cuenta que (para todos los casos “ $\phi$ ” es el ángulo de fricción del macizo y “ $\psi$ ” es el buzamiento de la falla):

- La conformación geostática produzca bloques estables. Para que esto se cumpla requiere que  $\frac{b}{h} > \tan \psi$  y  $\psi < \phi$ .
- Se presenta solamente el riesgo de falla por volteo o inclinación. Para que esto se cumpla se requiere que  $\frac{b}{h} < \tan \psi$  y  $\psi < \phi$ .
- Se presenta solamente riesgo de deslizamiento. Para que esto se cumpla se requiere que  $\frac{b}{h} > \tan \psi$  y  $\psi < \phi$ .
- Se presenta el riesgo combinado de deslizamiento y volteo simultáneamente. Para que se cumpla esto se requiere que  $\frac{b}{h} < \tan \psi$  y  $\psi < \phi$ .



**Figura 10.** Diagrama de cuerpo libre de un bloque en análisis. (Fuente: Suárez, 2000)



**Figura 11.** Condiciones de deslizamiento y volcamiento de bloques de roca. (Fuente: Suárez, 2000)

### 1.2.5.3 Efecto de las presiones hidráulicas

Generan fuerzas importantes sobre las superficies de las discontinuidades dentro de la masa rocosa. Estas fuerzas hidráulicas producen reducciones en los esfuerzos efectivos, provocando una disminución en la resistencia al cortante ya que reduce la fricción en la discontinuidad.

La magnitud de estas fuerzas varía de acuerdo con los cambios climáticos, provocando proceso de carga y descarga de esfuerzos internos en el macizo. Estos procesos producen mecanismo de deterioro de forma irreversible.

### 1.2.5.4 Resistencia de las discontinuidades

En macizos de roca relativamente fracturada o muy fracturada, el ángulo de fricción entre las paredes de la discontinuidad es el parámetro más importante para tener en cuenta en el

análisis de desprendimiento de bloques. El ángulo de fricción depende de la rugosidad, resistencia, cobertura, relleno, persistencia y existencia de agua. Sin embargo, es difícil la evaluación de estos parámetros en las discontinuidades.

Por este motivo se ha popularizado el análisis por métodos empíricos para su determinación; de acuerdo a la litografía de la roca, la rugosidad y relleno de las discontinuidades, puede aproximarse un ángulo de fricción de las discontinuidades.

Está claro que este procedimiento no reemplaza la realización de corte directo de las discontinuidades. No obstante, la popularización del método empírico en lugar del ensayo de corte directo, se debe a la factibilidad económica de realizarlo para proyecto de pequeña y mediana envergadura

### **1.2.6 Caído de Rocas**

La inestabilidad de los taludes rocosos crea un riesgo frecuente en carreteras, vías urbanas, y obras de infraestructura en general. El control de caída y deslizamientos de roca está destinado a mitigar los niveles de riesgo. Con un buen diseño basado en un análisis racional, se pueden minimizar las amenazas para obtener un nivel de riesgo determinado. Es por este motivo que existen distintos tipos de soluciones ante este riesgo, donde se desglosa en intervenciones activas y pasivas.

Las soluciones del tipo activas se utilizan donde el área de desprendimiento está muy cercana al de la infraestructura, los niveles de riesgo admitidos son muy bajos y no existe suficiente espacio para la deformación de las barreras (Giacchetti,2008). En este caso, se utilizan soluciones como, por ejemplo: cortinas simples con mallas, mallas con clavos, clavos y tirantes de anclajes, cable belting, control de agua, modificación de pendientes y voladuras.

De forma general, los caídos son provocados por: un incremento en la presión de poros, cambio de temperatura, descomposición química de la roca, crecimiento de raíces de las grietas, viento, vibraciones generadas por la actividad constructiva o voladura y sismos.

#### **1.2.6.1 Parámetros que determinan el comportamiento de caída de rocas**

Para determinar la magnitud de la amenaza se debe conocer factores tales como el tamaño y forma del bloque, fricción de la superficie de la roca, si existe la posibilidad de que el bloque se rompa o no, sin embargo, los factores más significativos son la geometría del talud y el coeficiente de restitución. Los parámetros de la geometría del talud más importantes son la inclinación y la longitud del talud, ya que definen la aceleración o desaceleración de los

bloques y la distancia sobre la cual la roca se ve acelerada o desacelerada, respectivamente. Es relevante destacar que la interacción del bloque desprendido con las irregularidades del terreno afecta la variabilidad de los eventos, de hecho, “el efecto de las irregularidades es el de alterar el ángulo con el que impacta la superficie del talud, y es precisamente ese ángulo de impacto el que a la larga determina el carácter del salto” (Wu, 1984).

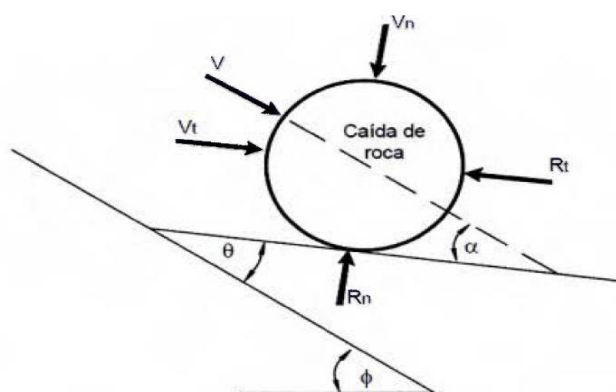
Las propiedades de la superficie del talud afectan el comportamiento del salto de un bloque por esta razón cuando una roca impacta sobre el talud se pierde energía (cinética), debido a los componentes inelásticos de la colisión y la fricción. A estas propiedades se les ha denominado coeficiente de Restitución ( $R_n$ ) y el coeficiente tangencial de la resistencia a la fricción ( $R_t$ ), donde la dirección normal es perpendicular a la superficie del talud y la dirección tangencial es paralela a esta superficie.

**Tabla 3**

*Parámetros que determinan el comportamiento de caída de rocas*

Factor	Parámetros
Geometría del talud	Inclinación
	Longitud
	Rugosidad de la superficie
	Variable lateral
Propiedades de la superficie del talud	Coeficiente de Restitución
	Coeficiente de Fricción
	Coeficiente de la Roca
Geometría de la Roca	Tamaño
	Forma
	Fragilidad
Propiedades de los materiales de la roca	Masa

Fuente: (Suárez,2000)



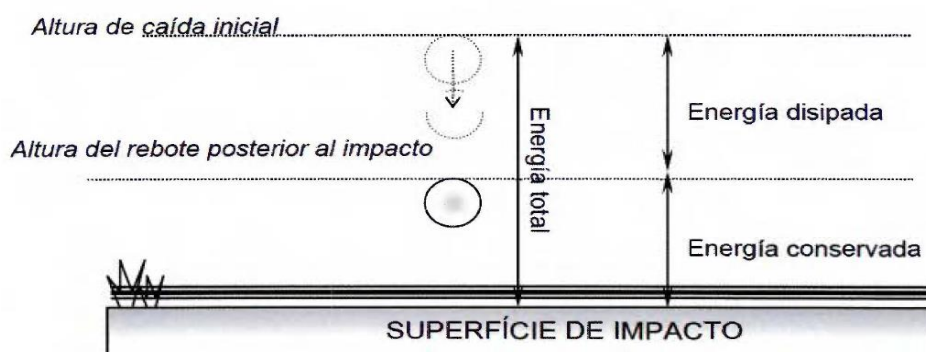
**Figura 12.** Ángulo de impacto definido como una función de las propiedades del talud. (Fuente: Colorado Rockfall Simulation Program)

Para el análisis de trayectorias de caída de roca se cuenta con gran cantidad de programas computacionales, tales como Rocfall y el más conocido Colorado Rockfall Simulation Program. La gran mayoría de estos programas utilizan la técnica de simulación de Montecarlo para Variar los parámetros incluidos en el análisis. El objetivo último de la realización del análisis es el de determinar donde caen los bloques de roca, su energía y altura de la trayectoria, de acuerdo a los parámetros ingresados.

### 1.2.6.2 Coeficiente de Restitución

Los coeficientes de restitución energética se calculan siguiendo la tercera ley de Newton “Cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, también ejerce una fuerza sobre aquel. Estas dos fuerzas siempre tienen la misma magnitud y dirección contraria” (Renik, Halliday, Krane & Stanely, 2008).

La magnitud del rebote viene definida por los coeficientes de restitución energéticas, los cuales indican la cantidad de energía conservada tras el impacto. La velocidad tras el impacto se ve reducida por efecto de la disipación de energía.



**Figura 13.** Disipación de la energía tras el choque. (Fuente: Abellán Fernández, 2003)

El coeficiente de restitución energética tangencial ( $R_t$ ) explica la relación entre las velocidades paralelas al talud antes y después del impacto. La vegetación y en menos grado el material del talud, influyen en el coeficiente tangencial.

El coeficiente de restitución energética normal ( $R_n$ ) explica la relación entre las velocidades normales a la ladera antes y después del impacto. Viene determinado por la rigidez de la superficie del talud, cuanto más deformable sea el material, menor será su coeficiente de restitución normal.

En función del tipo de materiales que se encuentran en el talud, se muestra el siguiente cuadro, el cual contiene los valores típicos.

**Tabla 4**

*Coefficientes de restitución energética en función del material de talud*

<b>Parámetros de restitución energética</b>		<b>Material del Talud</b>
<b>Rn</b>	<b>Rt</b>	
0,37 – 0,50	0,87 – 0,95	Roca dura
0,33 – 0,37	0,83 – 0,87	Roca firme cubierta de grandes bloques
0,30 – 0,33	0,68 – 0,75	Escombrera formada por elementos uniformemente distribuidos
0,25 – 0,30	0,50 – 0,60	Suelos cubiertos de vegetación

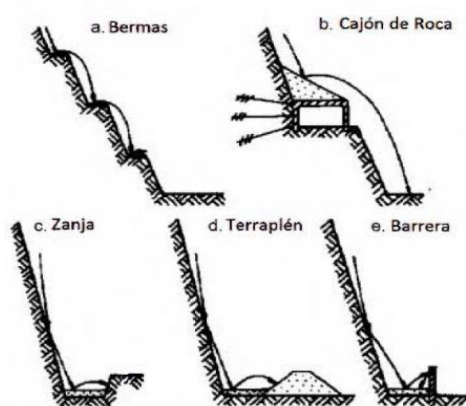
Fuente: Ministerio de Fomento Español, 2015

Se presenta en el Anexo A, el cual presenta la información de una forma más completa. Esta información fue obtenida de la tabla de coeficientes de Rocscience, presenta una gran gama de opciones de tipo de suelo de talud con sus respectivos valores.

### 1.2.6.3 Protecciones pasivas

Son medidas que se toman para detener rocas, es decir, que actúan sobre los efectos de la inestabilidad. Este tipo de medida se toma cuando el área de desprendimiento se sitúa lejano de la infraestructura, donde el riesgo residual es aceptable para la infraestructura y sobre todo donde las condiciones de trabajo son muy riesgosas para la instalación de soluciones activas.

Se concluye que las protecciones pasivas permiten el desplazamiento de los bloques de roca por el talud donde son detenidos por una estructura que elimina su energía, dejándolo sin movimiento. En general este tipo de estructura es colocada al pie del talud, no obstante, puede ser colocada en el talud. Estas soluciones requieren de un monitoreo constante con el fin de verificar el correcto funcionamiento de la protección.

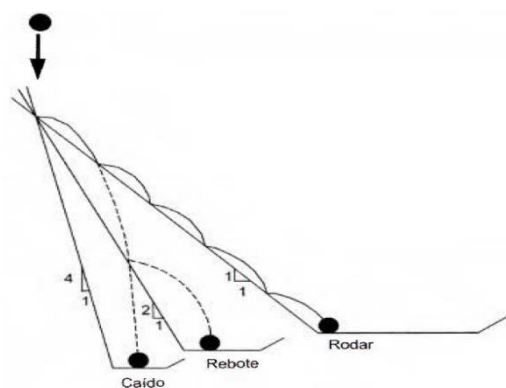


**Figura 14.** Soluciones estáticas ante caída de rocas.  
(Fuente: Hoek, 2007)

### 1.2.6.3.1 Trinchera o zanja

Según (Ritchie, 1963) el ancho y profundidad de las trincheras está relacionado con la altura y pendiente del talud; es preciso mencionar que en la realización de este método se debe dimensionar adecuadamente el ancho, profundidad, pendiente y capacidad de almacenamiento de la trinchera.

La pendiente del talud juega un papel determinante en el comportamiento del desprendimiento, en los taludes de pendiente superior a  $75^\circ$ , los bloques tienen a terminar su recorrido muy cerca del pie del talud, mientras que para pendientes entre los  $55^\circ$  y  $75^\circ$  las rocas tienden a rodar y saltar. Para pendientes d  $40^\circ$  a  $55^\circ$ , los bloques tienden a rodar.



**Figura 15.** Trayectoria de bloques a lo largo de distintos tipos de taludes. (Fuente: Suárez, 2000)

**Tabla 5**

*Criterios de diseño de atrape de bloques de roca*

Pendiente de Talud	Altura de Talud (m)	Ancho de la zanja (m)	Profundidad de la zanja (m)
Casi vertical	5 a 10	3,7	1,0
	10 a 20	4,6	1,2
	Mas de 20	6,1	1,2
0.25H 0.3H:1V	5 a 10	3,7	1
	10 a 20	4,6	1,2
	20 a 30	6,1	1,8
	Mas de 30	7,6	1,8
0.5H:1V	5 a 10	3,7	1,2
	10 a 20	4,6	1,8
	20 a 30	6,1	1,8
	Mas de 30	7,6	2,7
0.75H:1V	5 a 10	3,7	1,0
	10 a 20	4,6	1,2
	Mas de 20	4,6	1,8
	5 a 10	3,7	1,0
1:1	10 a 20	3,7	1,5
	Mas de 20	4,6	1,8

Fuente: (Ritchie,1963)

### 1.2.6.3.2 Muros

Existen distintos tipos de muros utilizados como técnica contra los caídos de rocas, por ejemplo, los muros de alcancía y muros de contención, entre otros de que se podrían mencionar. Los muros en general se utilizan para impedir la llegad de bloques de roca a una ubicación específica o para incrementar la estabilidad del pie de talud.

Los materiales utilizados en general son concretos, gaviones, bloques de roca o suelo reforzado, en algunos casos de han utilizado muros con llantas usadas. Los muros interceptadores se utilizan como una barrera que suspende el proceso de rodad o salto de bloques de roca hasta de dos metros. Es importante hacer hincapié en que este método permite interceptar bloques de mayor tamaño que las barreras de mallas o las trincheras.

### 1.2.6.3.3 Barreras dinámicas

La función primordial es de interceptar bloques de roca de dimensiones variables que se hayan desprendido, esto se hace por medio de mallas que por sus características de absorción de energía disminuyen la velocidad y por supuesto la energía con la que el bloque de roca cae.

La energía absorbida por dicho sistema depende de parámetros de diseño como la elongación máxima del cable de acero, el ángulo con la vertical en la que se coloque la malla, la dimensión del bloque entre otros y de la estabilidad en general del sistema.

Como se muestra en la siguiente figura, estas soluciones son compuestas por conjuntos formados por paneles, cables de acero y postes conectados a los elementos estructurales que garantizan la absorción de altas energías de impacto.



**Figura 16.** Barreras Dinámicas, solución contra caída de rocas. (Fuente: Maccaferri)

Actualmente en el mercado se consiguen mallas especiales para la atenuación del impacto de los bloques de roca, las cuales se clasifican sobre la base de su capacidad para absorber la energía. Las energías de referencia de las mallas varían comúnmente entre 500 KJ hasta 5000 KJ, considerando la energía absorbida durante el impacto de una masa de roca en movimiento de translación con una trayectoria normal a la barrera.



En el diseño de la barrera, según (Oggeri & Peila,2000) se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La altura de la barrera debe ser suficiente para interceptar los bloques de acuerdo a las trayectorias determinadas en el análisis de dinámica de los bloques. El impacto no puede suceder en el extremo superior de la barrera.
- Las conexiones entre los cables y anclajes deben ser capaces de resistir las fuerzas ocasionadas por el impacto.
- La orientación de las barreras debe realizarse de acuerdo a la experiencia de caídas ocurridas en el sitio.

#### **1.2.6.4 Protecciones activas**

Este tipo de retención se utiliza para prevenir la caída de bloques. Comúnmente se utiliza para carreteras o calles de tránsito permanente. Según se mencionó con anterioridad este método debe ser utilizado cuando el área de desprendimiento se encuentra muy cercano al de la infraestructura y/o donde los niveles de riesgos admitidos para la infraestructura son muy bajos y no se cuenta con espacio suficiente para la deformación de las barreras dinámicas.

Entre los métodos existentes se encuentran: los pernos, mallas ancladas, concreto lanzado, bermas o modificación de pendientes. En el caso específico de las mallas ancladas, su objetivo principal es controlar la caída de rocas por las laderas mas no implica la estabilización del mismo.



*Figura 17.* Sistema de retención, mallas ancladas. (Fuente: Dr. Spang, 2011)

##### **1.2.6.4.1 Mallas ancladas**

Son mallas de alambre galvanizado con pernos para evitar la ocurrencia de desprendimientos de bloques de roca. Es importante hacer notar que los anclajes de las mallas protegen de la caída de bloques superficiales, mas no representan estabilidad para el caso de fallas de bloques grandes o movimientos de grandes masas de roca.

Estas pueden ser utilizadas para impedir el movimiento de bloques pequeños (de 0.6m a 1.0m de diámetro), aunque en algunas ocasiones las mallas ayudan a atenuar el movimiento de grandes bloques. La malla actúa como una membrana alrededor de las masas o bloque inestable; a su vez pueden ser reforzadas con cables, los cuales son amarrados a los anclajes.

Es recomendado utilizar únicamente de sistema cuando la malla queda en contacto directo con la superficie del talud para formar un contacto continuo en toda el área protegida, en algunos casos estas mallas son diseñadas para que guíen el material al pie del talud. El material utilizado puede ser malla electrosoldada de tejido en cadena o mallas hexagonales torsionadas, “en la mayoría de los casos se prefiere la malla hexagonal” (Suárez, 2000).



**Figura 18.** Control de caídos utilizando mallas ancladas.  
(Fuente: Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño & Oteo, 2002)

### 1.2.7 Barreras contra caídos

#### 1.2.7.1 Tipos de barreras según energía absorbida

En el mercado actual existen distintos tipos de barreras dinámicas que se designan según la cantidad de energía máxima absorbida. Según se mencionó previamente en las barreras están diseñadas para energías de absorción de 500 KJ, 1000 KJ, 2000 KJ, 3000 KJ y 5000 KJ, sus alturas oscilan entre los 2.8 m y los 6.02 m dependiendo del productor y el nivel de absorción de la barrera.

Para determinar el tipo de barrera que se debe utilizar se emplea el termino de energía cinética, donde se toma en cuenta tanto la energía traslacional ( $E_k$ ) como la energía rotacional ( $E_w$ ) del elemento desprendido. La energía de la caída del bloque se determina según la siguiente formula:

$$E = E_w + E_k \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$E_k = \frac{MV^2}{2} \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$E_w = \frac{I\omega^2}{2} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

M: Masa de la roca

V: Velocidad de caída

I: Momento de inercia

W: Velocidad angular de rotación

En la ecuación mostrada el 80%-90% del aporte de la energía cinética la realiza la energía traslacional ( $E_k$ ) mientras que el 10%-20% del aporte es por medio de la energía rotacional ( $E_w$ ).

### 1.2.7.2 Tipos de diseño según ETAG 027

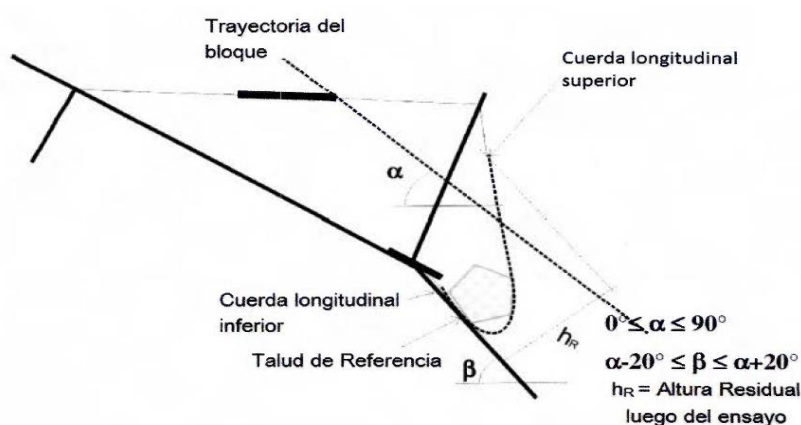
Los distintos tipos de diseño varían según la normal ETAG 027 (European Organisation for Technical Approvals, 2008). Los diseños se pueden realizar mediante el método “SEL” (Energía de servicio, por sus siglas en inglés) o por medio del método “MEL” (Máximo nivel de energía, por sus siglas en inglés).

El método de Energía de Servicio es definido por la energía cinética de un bloque regular que impacta en una barrera. Según la norma ETAG 027, para verificar que una barrera contra caídos se pueda usar con el método SEL debe garantizar el cumplimiento de los siguientes aspectos que serán descritos en los siguientes párrafos.

Es importante mencionar que este método consiste de dos lanzamientos, en los que no se puede dar mantenimiento entre un lanzamiento y otro.

En el primer lanzamiento la barrera debe ser capaz de detener el bloque, no debe hacer rupturas en las conexiones de los componentes, la altura residual de la barrera debe ser mayor o igual al 70% de la altura nominal.

En el segundo lanzamiento la barrera debe detener nuevamente el bloque y el bloque no debe tocar el suelo hasta que la barrera haya alcanzado la máxima elongación durante el ensayo.



**Figura 19.** Altura residual de una barrera. (Fuente: Norma ETAG 027)

El método de Máximo Nivel de Energía es definido como la energía cinética de un bloque regular donde  $MEL \geq 3 \text{ SEL}$ . Para la prueba de este método únicamente se comprueba que la barrera detenga el bloque y que el bloque no haya tocado el suelo antes de que el sistema haya alcanzado su elongación máxima durante el ensayo. Es decir, la metodología SEL establece el choque de dos bloques con un tercio de la energía máxima (MEL) donde la altura de la barrera luego del primer choque debe ser igual o superior al 70% de la altura inicial.

### 1.2.7.3 Componentes de una barrera

Los componentes típicos de una barrera se muestran en el siguiente cuadro.

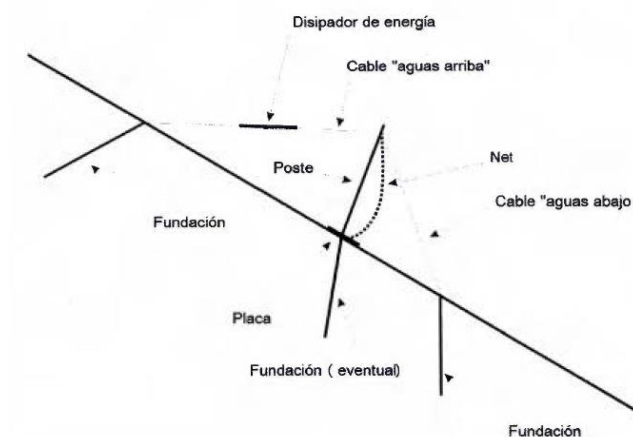
**Tabla 6**

*Componentes de una barrera contra caídos*

General	Componentes	Función
<b>Estructura de intercepción</b>	Red principal	Transmitir los esfuerzos a los componentes de conexión, soporte y fundación. Se deforma y/o plásticamente.
<b>Estructura de soporte</b>	Postes hechos de diferentes materiales, geometrías y longitudes. En la parte de abajo cuenta con un pasador	Mantiene la estructura de intercepción en su lugar. Puede conectarse directamente o por medio de componentes de conexión a la estructura de intercepción.
<b>Componentes de conexión</b>	Cuerda, cables, barras, uniones, abrazaderas, elementos de disipación de energía	Transmitir los esfuerzos a la fundación durante el impacto y/o mantiene la estructura de intercepción en posición.
<b>Fundación</b>	No se detalla en la norma ETAG 027	Transmitir las fuerzas derivadas del impacto del bloque al suelo.

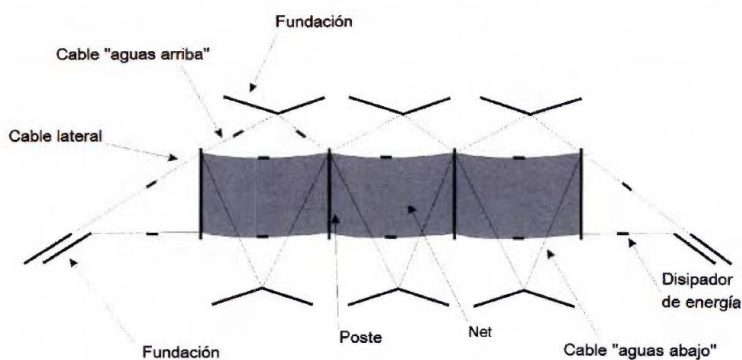
**Fuente:** Norma ETAG 027

En las siguientes figuras se muestran las vistas laterales y desde atrás de la sección típica de una barrera. Se muestran todos los componentes y su posicionamiento en general.

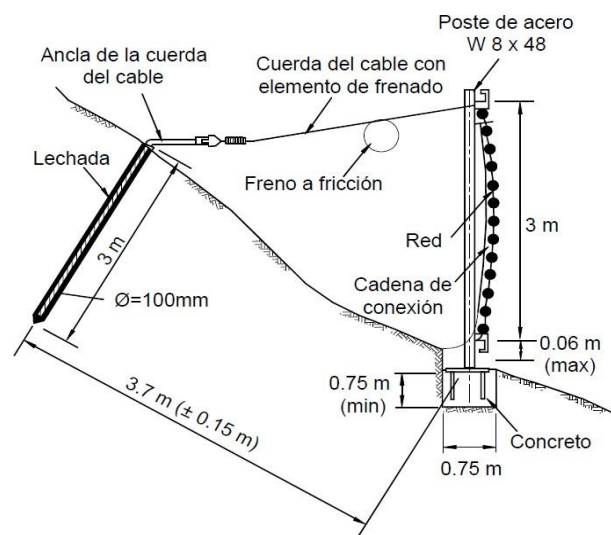


**Figura 20.** Vista lateral de una barrera contra caídos. (Fuente: Norma ETAG 027)

Es importante notar que la existencia del dissipador de energía. Este elemento tiene una función primordial en la absorción de energía por medio de la deformación.



**Figura 21.** Vista trasera de una barrera contra caídos. (Fuente: Norma ETAG 027)



**Figura 22.** Componentes de una barrera dinámica. (Fuente: Norma ETAG 027)

### 1.2.8 Cálculo del coeficiente de seguridad

La forma tradicional de determinar el coeficiente de seguridad (también llamado factor de seguridad), es mediante la determinación del cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor de requerimiento esperado real al que se verá sometido. La importancia del cálculo de este coeficiente es garantizar que, bajo desviaciones aleatorias de los requerimientos previstos, exista un margen extra de prestaciones por encima de las mínimas estrictamente necesarias. Un diseño seguro es aquel que presenta un factor de seguridad de al menos 1,5 (Bañón Blazquez & Beviá García, 2000).

Se determinará el coeficiente de seguridad de dos formas distintas, de modo que puedan ser comparadas. Se efectuará el cálculo de forma tradicional y según los procedimientos establecidos por la empresa Maccaferri y posteriormente por fórmula del método tradicional.

#### 1.2.8.1 Por la empresa Maccaferri

Se establece por la siguiente fórmula

$$FS = f_1 * f_2 * f_5 * f_6 * (f_3 * f_4)^2 \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde:

$f_1$ : Se refiere a la importancia de la obra. Este factor puede tomar distintos valores según la importancia histórica y artística, así como su popularidad. Los valores varían entre 1 y 1,2, donde su valor máximo es cuando la estructura tiene gran relevancia (hospitales, escuelas u obras de importancia histórica o artística).

$f_2$ : Se refiere al factor reductor de la capacidad de la barrera. Este valor depende del método de análisis utilizado. El método SEL tiene un valor de 1,0 mientras que MEL tiene un valor de 1,2.

$f_3$ : Se refiere a la calidad del levantamiento topográfico. El valor varía entre 1,01 y 1,07, donde su valor máximo se utiliza cuando el levantamiento no es fiable.

$f_4$ : Se refiere a la calidad de las averiguaciones geométricas relacionadas con la dimensión del bloque desprendido. El valor varía entre 1,01 y 1,07. Su valor máximo se utiliza cuando la información es aproximada.

$f_5$ : Se refiere a la calidad de las averiguaciones geométricas relacionadas con el peso. El valor varía entre 1,0 y 1,05. Su valor máximo se utiliza cuando no se conoce o se tiene grandes incertidumbres sobre su densidad.

$f_6$ : Se refiere a la calidad de la simulación de caída de rocas. Puede tomar dos valores distintos 1,02 y 1,07, donde el primero se utiliza cuando los valores de los coeficientes de restitución fueron derivados de un análisis hacia atrás y el segundo cuando el coeficiente fue utilizado con referencia de la literatura.

#### **1.2.8.2 Por la forma tradicional**

Se determina por la siguiente ecuación:

$$FS = \frac{Q_m}{Q_r} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde:

$Q_m$ : Se refiere a la carga máxima que soporta la estructura.

$Q_r$ : Se refiere a la carga máxima a la cual el sistema va a ser sometido.

### **1.3. Marco conceptual: Terminología Básica**

#### **1.3.1 Roca**

Una roca es una masa natural de minerales que forma parte considerable de la corteza terrestre, y es originada mediante algún proceso geológico.

#### **1.3.2 Caída de rocas**

La caída de rocas son un tipo de peligro geotécnico en el cual una masa relativamente pequeña se mueve a velocidades muy altas generando así muy altas energías de impacto en un corto periodo de tiempo.

#### **1.3.3 Buzamiento**

El buzamiento verdadero de un plano es el ángulo que éste forma con la horizontal, medido en una dirección perpendicular al rumbo del plano. El buzamiento aparente es el ángulo medido en cualquier otra dirección. Dado el rumbo y uno o dos buzamientos aparentes, es posible obtener el buzamiento verdadero. En estudios geológicos, el buzamiento de una superficie de estratificación u otra estructura planar no puede medirse generalmente con una precisión mayor de  $\pm 1^\circ$ . Para medir el buzamiento se utiliza un clinómetro.

#### **1.3.4 Mitigación de riesgo**

Conjunto de acciones y medidas, estructurales o no-estructurales, dirigidas a “reducir” las condiciones de vulnerabilidad o la exposición a las amenazas de las comunidades y su infraestructura. Normalmente se acostumbra implementar acciones estructurales que

disminuyen el impacto del evento, y por ende disminuir los daños (por ejemplo, muros de contención, bordas de protección, etc.). Sin embargo, también existen medidas de mitigación no-estructurales como la reforestación, el uso de códigos de construcción, rotación de cultivos, barreras vegetativas de conservación y retención de suelo, etc.

### **1.3.5 Talud**

Se entiende por talud a cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra. No hay duda que el talud constituye una estructura compleja de analizar debido a que en su estudio coinciden los problemas de mecánica de suelos y de mecánicas de rocas, sin olvidar el papel básico que la geología aplicada desempeña en la formulación de cualquier criterio aceptable.

### **1.3.6 Estabilidad**

Se entiende por estabilidad a la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento. Como primera medida es necesario definir criterios de una estabilidad de taludes, entendiéndose por tales algo tan simple como el poder decir en un instante dado cual será la inclinación apropiada en un corte o en un terraplén; casi siempre la más apropiada será la más escarpada que se sostenga el tiempo necesario sin caerse. Este es el centro del problema y la razón de estudio.

### **1.3.7 Deslizamientos**

Se denomina deslizamiento a la rotura y al desplazamiento del suelo situado debajo de un talud, que origina un movimiento hacia abajo y hacia afuera de toda la masa que participa del mismo.

### **1.3.8 Barrera dinámica**

Se define barrera dinámica como un sistema de componentes colocado sobre la superficie del talud con capacidad para absorber la energía cinética desarrollada por desprendimientos de grandes dimensiones y flujos de detritus, con la finalidad de proteger vidas humanas y bienes materiales.

### **1.3.9 Volcamiento**

Consiste en el giro hacia delante de una masa de suelo o roca respecto a un punto o eje debajo del centro de gravedad del material desplazado, ya sea por acción de la gravedad o presiones ejercidas por el agua.



### **1.3.10 Energía traslacional ( $E_k$ )**

La energía traslacional es cuando todas sus partes siguen una misma dirección.

### **1.3.11 Energía rotacional ( $E_w$ )**

La energía rotacional se presenta cuando los cuerpos giran.

### **1.3.12 Masa**

Como masa designamos la magnitud física con que medimos la cantidad de materia que contiene un cuerpo. Como tal, su unidad, según el Sistema Internacional de Unidades, es el kilogramo (kg).

### **1.3.13 Momento de inercia**

El momento de inercia o inercia rotacional es una medida de la inercia rotacional de un cuerpo. Más concretamente el momento de inercia es una magnitud escalar que refleja la distribución de masas de un cuerpo o un sistema de partículas en rotación, respecto al eje de giro. El momento de inercia sólo depende de la geometría del cuerpo y de la posición del eje de giro; pero no depende de las fuerzas que intervienen en el movimiento.

### **1.3.14 Velocidad de caída**

Es un movimiento uniformemente acelerado y la aceleración que actúa sobre los cuerpos es la de gravedad representada por la letra  $g$ , como la aceleración de la gravedad aumenta la velocidad del cuerpo, la aceleración se toma positiva.

### **1.3.15 Velocidad angular de rotación**

La velocidad angular es una medida de la velocidad de rotación. Se define como el ángulo girado por una unidad de tiempo y se designa mediante la letra griega  $\omega$ . Su unidad en el Sistema Internacional es el radián por segundo (rad/s).

## **1.4 Marco Histórico**

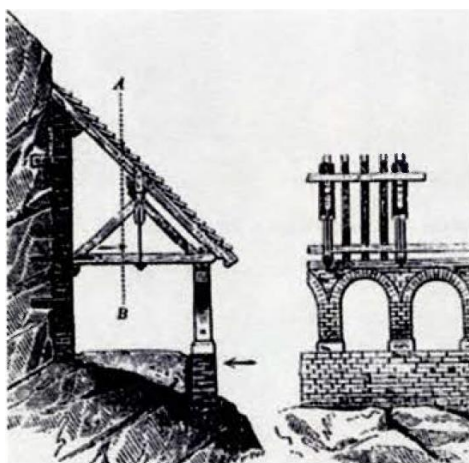
(Heierli, 1976) señala que las protecciones contra avalanchas se pueden encontrar descritas en la literatura desde 1518, la protección contra los riesgos de caída de rocas sólo se puede suponer que comenzaron en 1834, con el comienzo de la construcción del ferrocarril en Europa.

Entre los años de 1835 y 1885, aproximadamente 200 mil kilómetros de líneas de ferrocarril se construyeron en Europa y 480 mil en todo el mundo con una considerable porción de ellos

transcurriendo por regiones montañosas. Hasta los años 1950 solamente se confiaba en materiales específicos de ferrocarril por ejemplo muros rígidos, como protección contra caída de rocas, según indica (Grosic, Arbanas & Udovic, 2010).

#### 1.4.1 Primeras aplicaciones internacionales

Tras los eventos de caídas de rocas sobre la infraestructura vial, se crea una gran necesidad de manejar adecuadamente estos acontecimientos. (Ahlburg, 1870) hace referencia a esta necesidad de forma que se construyeran instalaciones especiales que contuvieran deslizamientos de rocas, formados por procesos de erosión para proteger el tráfico en las carreteras de montaña. Sus conclusiones están ilustradas por la galería que se muestra en la siguiente figura. No se mencionan otras posibilidades de protección.



**Figura 23.** Galería de protección contra rodados. Fuente: (Ahlburg, 1870)

El uso de redes de cables comenzó en la protección contra avalanchas con redes triangulares que conformaban mallas rectangulares originalmente montadas sobre postes de madera, después en postes de acero. Inicialmente el tamaño de la malla era de 0.2 m x 0.2 m.



**Figura 24.** Red de prevención contra avalanchas, con armazón de madera. Fuente: (Grosic, Arbanas, & Udovic, 2010)

Al principio las redes se colocaban individualmente, la idea de colocar estas estructuras en series fue desarrollada en los años posteriores, el inicio de los primeros métodos de dimensionamiento para estructuras de prevención de avalanchas con base en redes de cables ha permanecido validos hasta hoy en día. La experiencia mostro que las estructuras de protección contra avalanchas durante el periodo de verano eran una y otra vez expuestas a caída de rocas, resistiendo los impactos.



**Figura 25.** Rocas sobre estructura retenedora de avalanchas en Suiza, 1961. Fuente: (Grosic, Arbanas, & Udovic, 2010)

La primera estructura en el mundo erigida con redes de cables para protección contra caída de rocas fue instalada en 1958 en Brusio, al sur de Suiza para la protección de las líneas de transmisión de energía, Campocologno – Cavaglia. La construcción, basada en redes rectangulares de 3 m x 5 m y altura 5 m, se colocó sobre un muro de retención y tensionada con travesaños de acero (**Dr. Spang, 2011**).



**Figura 26.** Primeras pruebas en barreras con redes de cable de acero. Fuente: (HEIERLI, W, Schutz, 1976)



**Figura 27.** Propuesta de las primeras pantallas para el control de caída de rocas. Fuente: (HEIERLI, W, Schutz, 1976)

#### 1.4.2 Primeros ensayos en terreno

Debido a que no se había hecho un estudio sistemático para el dimensionamiento de protección contra avalanchas para mitigar los problemas de caídas de rocas, ni se conocía métodos adecuado para la determinación de la energía que estos sistemas podían absorber, en 1962 se iniciaron los primeros ensayos sistemáticos de caída de rocas en Suiza, según señala (Dr. Spang, 2011).

Las personas involucradas en las investigaciones y pruebas que se realizaron llegaron a la importante conclusión de que un adecuado aumento de absorción de energía, expresado por el trabajo mecánico  $W$  de la roca contra el sistema con una limitada absorción de fuerza del mismo, sólo podría ser lograda con el máximo desplazamiento posible, “ $s$ ” de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$W = F \times S \quad (\text{Ecuación 17})$$

La elongación a la rotura de los cables de acero normales (de un 2,5 % a 3%) no era suficiente para estos propósitos. Eventualmente podían construirse cables con elongaciones del 15% pero la resistencia mecánica era muy baja, por lo que el efecto se mantenía bajo también.

La solución solamente vino con el desarrollo de los elementos de freno, incluidos en un sistema particular en los cables de acero. Esto permitió que la elongación de los cables de acero no fuera una limitante, en su lugar la mayoría disipación de energía la paso a tomar este sistema de frenos, llamado disipador de energía.

Ensayos sistemáticos de caída de rocas destinados al desarrollo de sistemas con una capacidad de trabajo superior se desarrollaron en la localidad de Birr, Suiza. En estos ensayos, bloques de concreto de hasta 10 KN se dejaban caer libremente desde una grúa a una altura de 20 mts hasta redes de cable dispuestas horizontalmente. La estructura de soporte consistía en perfiles de acero. Elementos fueron utilizados por primera vez durante estos ensayos (Rochet, 1979).



**Figura 28.** Ensayos en caída libre Birr, 1975.  
Fuente: (Rochet, 1979)

### 1.4.3 Guías de diseño

Para el diseño de barreras contra caídas existen dos guías, la Europa (ETAG027) y Suiza (BAFU), sin embargo, no existe una normal que dicte su diseño.

La guía de diseño Suiza o BAFU, fue publicada en 2001 y se hizo una adaptación en 2006, esta norma fue realizada por la Agencia Suiza para el medio ambiente, paisaje y bloques. Mientras que la guía de diseño europea o ETAG 027, fue publicada en 2008 por la Organización Europea para las Aprobaciones Técnicas (EOTA).

Ambas directrices fueron hechas para normalizar los procedimientos para certificar los productos utilizados contra caída de rocas; éstas presentan diferencias entre ellas, en cuanto a los ensayos que se deben realizar y las mediciones que se hacen. A continuación, se muestra un comparativo entre las normas anteriormente mencionadas.

**Tabla 7***Comparación entre guías de diseño*

<b>Criterio Técnico</b>	<b>Europea: ETAG 027</b>	<b>Suiza: SAEFL/WSL</b>
<b>Inclinación del Ensayo</b>	<b>0°-90°</b>	<b>90° (Vertical)</b>
Tamaño del Bloque de Diseño	Se indica 1/3 de la altura para las caras del bloque, sin embargo, no está definido con detalle. Indica un rango de densidades para el bloque (25 kn/m3 y 30 kn/m3)	Definida para cada ensayo y se indica una densidad recomendada para el bloque
Ensayo Preparativo con bloques pequeños	No se realiza	Si se realiza
Ensayo Previo	Son 2, al 33% de la energía máxima	Es 1, al 50% de la energía máxima
Ensayo Principal	Es 1, al 100% de la energía máxima	Es 1, al 100% de la energía máxima
Altura Residual de la barrera	Categorías A (>50% altura nominal), B (>30% altura nominal) y C (0%)	Mínimo 50%
Restricción de los paneles laterales	Impone medir las aberturas laterales que se forman entre el poste lateral y la red después del impacto	La norma suiza no contempla algún control.
Elongación de la red de la barrera	Solo se cita, no se define	Es definida la admisible
Definición de la altura de lanzamiento para el ensayo	No se define	Se define precisamente para cada ensayo
Tolerancia	+/- 7% (energía) entre otras tolerancias	Cercano a cero. Muy preciso
Tolerancia de las geometrías	Se permiten tolerancias sobre la geometría de la barrera a prueba muy restrictivas. Máximo 0.5 m en barreras hasta 4.0 m de altura y 1.0 m para barreras superiores a 4.0 m. Ninguna disminución de altura es permitida.	Permite barreras con altura aumentada en 50% para más de aquella ensayada
Mantenimiento del Sistema	No evaluado	Si se define
Protocolo de Fabricación	Si	No, pero compensa ISO9001-2008

Fuente: (Geobrug, 2014)

## **CAPÍTULO II**

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **2.1. Materiales**

##### **2.1.1 Recursos Humanos**

Para este presente trabajo de investigación se contó con la colaboración del siguiente personal:

- 01 tesista
- 01 asesor de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura (UNSM)
- 01 topógrafo
- 01 personal Técnico

##### **2.1.2 Recursos Materiales**

- Útiles de oficina
- Libros, artículos y todo texto de consulta
- Materiales de almacenamiento de datos (CD y USB)
- Cinta métrica (50 m)

##### **2.1.3 Recursos de Equipos**

- Equipo topográfico (Estación total)
- Computadora portátil (Laptop)
- Impresora
- Cámara fotográfica
- Medios de comunicación (celulares)

##### **2.1.4 Otros Recursos**

- Softwares (Microsoft Word, Microsoft Excel, AutoCAD, Global Mapper, Rocfall)
- Navegador de Internet (Google Chrome)
- Movilidad hacia la zona de estudio

## **2.2. Método**

### **2.2.1 Universo y Muestra**

#### **2.2.1.1 Universo**

El universo lo conforma el talud del margen derecho, aguas abajo del Rio Shilcayo, ubicado entre la escalinata de la Alameda de la Paz y el Hotel Cumbaza.

#### **2.2.1.2 Muestra**

Se considera como área de amenaza a toda la cubierta del talud, se realizó identificó los riesgos existentes para realizar en análisis en cada zona establecida y con ello poder plantear la propuesta del uso de barreras dinámicas para mitigar el riesgo de caída de rocas.

## **2.3 Variables, Operacionalización**

### **2.3.1 Sistema de Variables**

Se empleó un sistema de variables definidos de la siguiente manera, para la variable independiente se idealizará con la letra “X” y para la variable dependiente se idealizará con la letra “Y”.

#### **2.3.1.1 Variable Independiente**

La variable independiente está dada por:

Análisis de las áreas con amenaza de caída de rocas.

#### **2.3.1.2 Variable Dependiente**

La variable dependiente está dada por:

Uso de Barreras Dinámicas para la mitigación de riesgo en zona vial urbana en la Alameda Shilcayo.



## 2.4 Operacionalización de variables

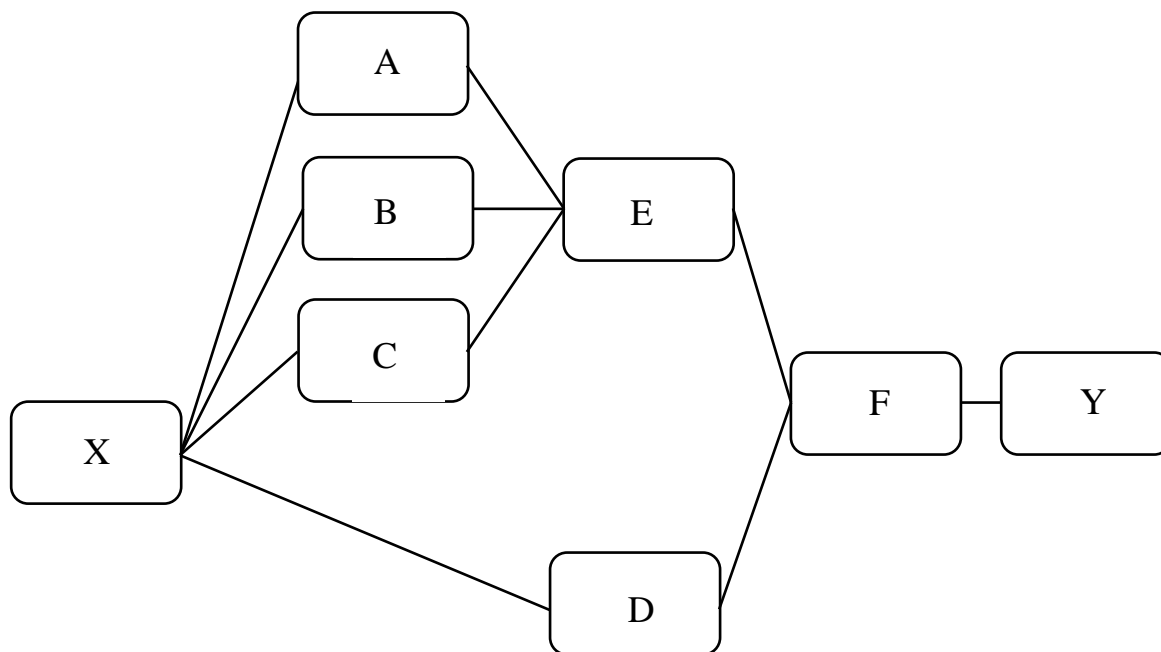
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Análisis de las áreas con amenaza de caída de rocas	El análisis de las áreas con amenaza de rocas, se define como el método por el cual se determina el las simulaciones corridas en el programa, para conocer cuál es el factor de amenaza de que se realice el desprendimiento de rocas en las condiciones más críticas posibles	El resultado del análisis de las áreas con amenaza de caída de rocas, mediante la determinación del factor de seguridad, permitirá proponer el uso de barreras dinámicas para la mitigación de riesgo en la zona estudiada	Resultados de la simulación corridas en el programa, mediante el análisis de las zonas determinadas, en condiciones críticas para datos seguros.	Cuantitativa
Uso de Barreras Dinámicas para la mitigación de riesgo en zona vial urbana en la Alameda Shilcayo	El uso de Barreras Dinámicas, se define como una propuesta para contribuir a la mitigación de riesgo en la zona determinada	El resultado del análisis de las áreas con amenaza de caída de rocas, mediante la determinación del factor de seguridad, permitirá proponer el uso de barreras dinámicas para la mitigación de riesgo en la zona estudiada	Resultados de la simulación corridas en el programa, mediante el análisis de las zonas determinadas, en condiciones críticas para datos seguros.	Cuantitativa

## 2.5 Diseño de la investigación

Se trata de una Investigación no Experimental, puesto que el análisis de las áreas con amenaza de caída de rocas se realizó sin manipular las condiciones existentes en el área de estudio.

Asimismo, la simulación realizada por el programa determinó el modelamiento de los riesgos existentes en un hipotético caso de desprendimiento de rocas, esto fue un indicador

para la propuesta de uso de Barreras Dinámicas. Ya que dicha estructura gestionara como una alternativa para la mitigación de riesgo. El esquema del diseño de investigación es el siguiente:



X: Investigación Preliminar (Recolección y revisión de información existente).

A: Trabajo de campo realizado en la zona de estudio (reconocimiento de las zonas, mediciones de rocas, levantamiento topográfico, extracción de muestras).

B: Trabajo de Gabinete (Realización de los perfiles topográficos y plano estratigráfico para su posterior análisis).

C: Ensayos de laboratorio (Realización de los respectivos ensayos en el laboratorio).

D: Definir los parámetros para la simulación.

E: Insertar datos obtenidos del campo y el laboratorio.

F: Realizar la simulación en el programa.

Y: Se realiza el dimensionamiento de las barreras

## 2.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

### 2.6.1 Técnicas

Para recolección y selección de datos no se usó un instrumento específico dado que la investigación no es experimental, pero si la utilización de programas, softwares y datos textuales para la obtención información que nos permitieron lograr los objetivos trazados en la presente investigación.

Cabe resaltar que para el diseño de las cimentaciones si se realizó un análisis de suelos con la cual se tuvo que obtener muestras de campo y hacer los ensayos en laboratorio.

### **2.6.2 Instrumentos de recolección de datos**

La información se adquirió a través de datos técnicos, observaciones y reconocimiento de la zona de estudio, levantamiento topográfico, estudios de mecánica de suelos y geotecnia, mediciones de las zonas riesgosas y de las rocas estudiadas para la simulación.

- a) Instrumentos Bibliográficos. Para la interpretación de los resultados de la investigación.
- b) Instrumentos usados en Campo. Para la obtención de los datos topográficos, mediciones de las rocas, reconocimiento del lugar, extracción de muestras, etc.
- c) Instrumentos de Gabinete. Para el procesamiento de la información obtenida en campo y en el programa. Asimismo, para el análisis de las simulaciones.

## **2.7 Método de análisis de datos**

Luego de recopilar información de fuentes bibliográficas, de laboratorio y de campo se realizó el análisis de los datos de forma computarizada empleando el apoyo de programas de ingeniería, como es el caso del programa de dibujo automatizado AutoCAD 2019, así también se empleó el programa Rocfall v.4.0 y el programa Google Earth Pro, para el procesamiento y elaboración de los resultados. También se empleó el programa Microsoft Excel, con la finalidad de generar los gráficos de los perfiles para hacer más factible el entendimiento dentro del programa de textos Microsoft Word.

### **2.7.1 Programa Rocfall**

Para la presente investigación se recurrió al software Rocfall, que nos ayudó a representar una simulación de caída de rocas, ingresando los datos necesarios que se obtuvieron en el transcurso del presente estudio.

### **2.7.2 Programa Google Earth Pro**

Se usó el programa Google Earth para facilitarnos la localización del área de investigación y con ello poder realizar los planos de ubicación.

### **2.7.3 Programa AutoCAD 2019-English**

El software AutoCAD 2019-English nos permitió realizar los planos correspondientes para un mejor entendimiento de la propuesta mostrada en el presente trabajo, gracias a ello se pudo apreciar a detalle la estructura y sus componentes.

### 2.7.4 Programa Global Mapper

El software Global Mapper nos permitió realizar en análisis de las pendientes de toda la alameda, con ellos poder determinar los puntos críticos en la cual existen una mayor amenaza en un posible escenario de desprendimiento de rocas

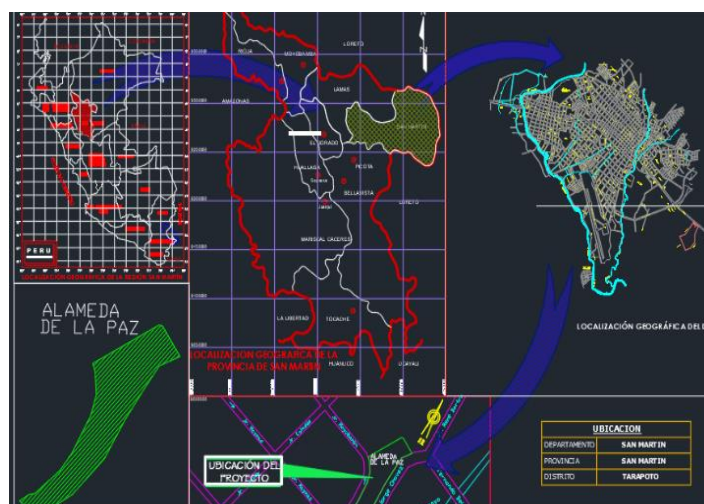
## 2.8 Procesamiento de la información

### 2.8.1 Reconocimiento del lugar

Con el fin de realizar el dimensionamiento de la barrera en la ubicación determinada, se realizó un reconocimiento de campo, con la finalidad de hacer un análisis visual y así poder reconocer los riesgos existentes en diferentes zonas de la alameda ocasionadas por el desprendimiento de rocas que puedan afectar las estructuras al pie del talud como es el caso de la cuneta y la calzada, pero sobre todo el peligro de atentar sobre la integridad de las personas que transitan por la vía.

Se determinó la ubicación geográfica de la zona estudiada, con la ayuda del programa Google Earth Pro, se pudo determinar la Altitud, Longitud, Área, Perímetro de la zona conocida como “Alameda de la Paz”.

- Latitud: 6°29'22.25"S
- Longitud: 76°21'25.47"O
- Área (Aproximado): 3429.5 m<sup>2</sup>
- Perímetro (Aproximado): 358 m



**Figura 29.** Ubicación Geográfica de la zona estudiada.  
Fuente: AutoCAD (Elaboración propia, 2019)

### 2.8.2 Características Geológicas

En este recorrido se identificó que el talud está compuesto por suelo y roca, así mismo se observó que hubo desprendimiento de rocas.



*Fotografía 1.* Roca desprendida del talud.

### 2.8.3 Vegetación existente

Se identificó algunas especies de flora como el Bambú, palmeras, yerbas, arbustos, etc. Los árboles y arbustos de raíz profunda aportan una resistencia cohesiva a los mantos de suelos más superficiales y al mismo tiempo facilitan el drenaje subterráneo, reduciendo en esta forma las probabilidades de deslizamiento o desprendimiento de rocas acentuados en la superficie.



*Fotografía 2.* Árbol con riesgo a desprenderse.

### 2.8.4 Estudio Topográfico

#### 2.8.4.1 Introducción

El presente estudio topográfico detalla el proceso de campo y trabajo de gabinete realizados para obtener los planos topográficos del terreno. Asimismo, los datos obtenidos del estudio topográfico son parámetros geométricos del talud analizado.

#### 2.8.4.2 Objetivos del estudio topográfico

El estudio topográfico tiene como objetivo principal determinar las características geométricas actuales del terreno, para con ello reconocer los sectores donde presenta un

perfil adecuado para el análisis de la caída de las rocas tomando como referencia el tramo 00+00 al 00+140.00.

Para la obtención de puntos se realizó con el instrumento GPS, para el levantamiento topográfico, se contó con el apoyo de un topógrafo quien hizo uso de del equipo estación total.

#### **2.8.4.3 Personal y Equipamiento utilizado**

Para la presente obtención del levantamiento topográfico llevado a cabo el día 13 y 14 de setiembre del 2019, se contó con el apoyo del siguiente personal y equipamiento requerido:

##### **Personal**

01 jefe de estudio (Tesisista)

01 topógrafo

01 ayudante del prisma

##### **Equipos**

01 estación total

01 GPS Navegador

01 trípode metálico para estación

02 bastones

02 porta prisma

02 prisma

02 radios Walkie Talkie

Cámara fotográfica

01 laptop

Equipo de software (AutoCAD civil 3D, Microsoft Office, etc)

Pilas recargables

#### **2.8.4.4 Metodología**

##### **Descripción del terreno**

El área de estudio está comprendida por el perímetro de la zona estudiada.

### **Trabajo de campo**

Se obtuvo 910 puntos levantados en campo para la proyección del plano en planta del área de estudio. Asimismo, se realizaron 9 perfiles topográficos de acuerdo a la variación de las pendientes para un mejor análisis comparativo del nivel de riesgo inducido en el talud de la zona.

### **Trabajo de Gabinete**

Con los datos obtenidos por el levantamiento topográfico, se procesó la información en el programa AutoCAD y se obtuvo los planos de planta, los perfiles topográficos, correspondientes al área de estudio.

## **2.8.5 Estudio de mecánica de suelos y geotecnia**

### **2.8.5.1 Introducción**

El presente estudio de suelos y geotecnia nos brinda la información requerida de los estratos encontrados en el talud estudiado así mismo nos permite conocer el tipo de suelo y sus características que nos sirven de datos para la ejecución del presente proyecto.

### **2.8.5.2 Objetivos del estudio**

Con el estudio de mecánica de suelos y geotecnia se determina las propiedades físicas mecánicas del suelo que serán necesarias para realizar en análisis de la inestabilidad o estabilidad del área del talud estudiado.

### **2.8.5.3 Personal y equipo utilizado**

Para el trabajo de campo: se contó con el siguiente personal

#### **Personal**

01 jefe de estudio (Tesista)

01 técnico de suelos

01 ayudante para realizar la excavación

#### **Equipo e Instrumentos**

01 GPS

01 posteadora

01 wincha

01 excavadora manual

01 palana

01 machete

01 cámara fotográfica

Bolsas, costales, pizarra y plumones acrílicos

Para el trabajo de gabinete: Se conto con el siguiente personal:

### **Personal**

01 jefe de estudio

01 técnico de laboratorio de suelos

Equipo e Instrumentos

01 balanza electrónica

01 horno eléctrico del laboratorio

01 juego de tamices

01 equipo para corte directo

Recipientes de latas para las muestras

### **2.8.5.4 Metodología**

Trabajo de campo: La excavación se realizó mediante la técnica de calicatas, con el uso de un instrumento llamado posteadora manual para la extracción de muestras. Se excavaron un total de 03 calicatas y 01 perforación manual, los cuales se detallan en los anexos del estudio de mecánica de suelos.



**Fotografía 3.** Extracción de muestras con el instrumento posteadora manual.

Trabajo de gabinete: Consiste en realizar los ensayos en el laboratorio de mecánicas de suelos y pavimentos de la facultad de ingeniería civil y arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín. Se realizaron los siguientes ensayos:

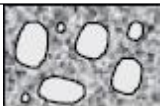










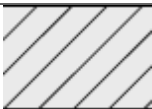

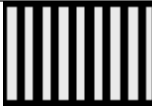

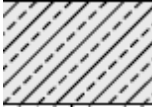
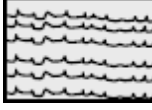
**Tabla 8***Ensayos de laboratorio realizados*

Nombre del ensayo	Norma
Contenido de Humedad	NTP 339.127 (ASTM D2216)
Análisis Granulométrico	NTP 339.128 (ASTM D422)
Limite Liquido y limite plástico	NTP 339.129 (ASTM D4318)
Clasificación Unificada de suelos (SUCS)	NTP 339.134 (ASTM 2487)
Corte Directo	NTP 339.171 (ASTM D3080)

Fuente: Norma E 050 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones

**Tabla 9***Simbología de los suelos (referencial)*

DIVISIONES MAYORES		SIMBOLO		DESCRIPCION
		SUCS	GRAFICO	
SUELOS GRANULARES	GRAVA SUELO GRAVOSO	Y GW		GRAVA BIEN GRADUADA
		GP		GRAVA MAL GRADUADA
		GM		GRAVA LIMOSA
		GC		GRAVA ARCILLOSA
	ARENA SUELOS ARENOSOS	Y SW		ARENA BIEN GRADUADA
		SP		ARENA MAL GRADUADA
		SM		ARENA LIMOSA
		SC		ARENA ARCILLOSA
	LIMOS ARCILLAS (LL < 50)	Y ML		LIMO INORGANICO DE BAJA PLASTICIDAD

<b>SUELOS FINOS</b>	LIMOS Y ARCILLAS (LL >50)	CL		ARCILLA INORGANICA DE BAJA PLASTICIDAD
		OL		LIMO ORGANICA O ARCILLA ORGANICA DE BAJA PLASTICIDAD
		MH		LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
		CH		ARCILLA INORGANICA DE ALTA PLASTICIDAD
		OH		LIMO ORGANICO O ARCILLA ORGANICA DE ALTA PLASTICIDAD
<b>SUELOS ORGANICOS</b>	ALTAMENTE	Pt		TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS

Fuente: Elaboración propia. Referencia: Norma E 050 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones

## 2.8.6 Programa Rocfall

### 2.8.6.1 Descripción del programa

Rocfall es un programa probalístico con análisis estadístico de caída de rocas. El programa puede ser utilizado para simular casi cualquier evento de “caída de rocas”, además puede ser utilizado para diseñar medidas de mitigación y medir su efectividad.

### 2.8.6.2 Dificultades para el análisis de caída de rocas

La ubicación y la masa de las rocas que pueden desprenderse son parámetros inciertos. Los materiales constitutivos del talud pueden variar considerablemente de una sección transversal a otra además que las propiedades relevantes de los materiales normalmente no son datos que se conozcan con precisión

### **Geometría del talud**

La geometría del talud varía considerablemente a lo largo del trayecto, es por esto que realizar un estudio detallado de toda la ruta resulta poco factible. Normalmente se tiene acceso a algunas secciones transversales, aquellas que presuntamente tienen mayor riesgo de caída de rocas. Por estas razones es que la geometría del talud utilizada en las simulaciones no es del todo exacta.

### **Material del talud**

Los materiales que constituyen un talud en general son variables desde la cresta hasta el pie del talud y además es variable de sección transversal a sección transversal. Aunque se tratara de un material uniforme el valor de algunas propiedades importantes, como lo es el coeficiente de restitución, es un valor que no es conocido con precisión.

#### **2.8.6.3 Detalles del programa**

##### **Talud**

En la creación de taludes prácticamente no se tiene restricciones, es decir, se puede crear cualquier tipo de talud, hasta pueden tener secciones que sobresalen. Además, el talud puede estar hecho de cualquier cantidad de segmentos y cada segmento tener distintas propiedades de material.

##### **Variables aleatorias**

En la realización de un análisis probalístico es requerido que sea posible asignarles valores aleatorios a algunos de los parámetros de ingreso la realizar la simulación. Es por esta razón que el programa cuenta con la posibilidad de definir un valor constante o valores aleatorios a la mayoría de los parámetros de ingreso. La masa de la roca, la ubicación inicial de la roca, la velocidad de la roca, la ubicación de los vértices del talud, los coeficientes de restitución y los coeficientes del ángulo de fricción de la roca pueden ser definidos como variables aleatorias.

##### **Variación de los vértices**

Se puede utilizar con el fin de simular los efectos de la variación de la geometría del talud, por medio de la asignación de una distribución normal a los vértices. Además, puede ser utilizada en el caso de que no se haya determinado de forma exacta la localización de los vértices; es decir, que no se haya hecho un levantamiento topográfico, sino que haya sido extraído de curvas de nivel, por ejemplo.

### **Condiciones iniciales de las rocas**

Para realizar el análisis es necesario definir la ubicación inicial, la velocidad inicial y la masa de la roca. La ubicación inicial de la roca puede ser especificada en cualquier lugar por encima del talud o sobre la superficie del mismo, sin embargo, no es posible definirla de forma subterránea.

#### **2.8.6.4 Algoritmo de la partícula**

En esta sección se detalla los supuestos hechos, las ecuaciones utilizadas por el programa y el algoritmo usado en el programa. Tal como se ha mencionado anteriormente el algoritmo permite el análisis de secciones sobresalientes del talud, deslizamiento de las partículas y la inclusión de barrera en la simulación.

Es relevante hacer notar que el modelo de caída de partículas es bastante crudo, respecto al proceso físico de un desprendimiento de rocas real. El modelo desprecia los efectos del tamaño, forma y momento angular de la partícula, estas inciden en el resultado final. Sin embargo, el modelo tiene ventaja de ser extremadamente rápido para calcular, lo que permite realizar un análisis de sensibilidad posteriormente.

### **El algoritmo**

Existen tres distintas secciones para el análisis de la partícula: el algoritmo de partícula, el algoritmo de proyectiles y el algoritmo de deslizamiento de partículas. El algoritmo de la partícula se encarga de que los parámetros de la simulación estén correctamente introducidos y prepara las condiciones iniciales para los algoritmos de proyectiles y deslizamiento.

En primer lugar, se ejecuta el algoritmo del proyectil, el cual es utilizado para calcular el movimiento de la roca mientras viaja en el aire, rebotando de un punto a otro. El algoritmo de deslizamiento de la partícula se usa para calcular el movimiento de la roca mientras esté en contacto con el talud.

### **Supuestos**

Cada roca es modelada como una partícula. Dado que el tamaño de la roca no tiene un rol determinante en el algoritmo, la partícula se toma como un círculo infinitesimal, no obstante, esto implica una forma circular en las ecuaciones del algoritmo de deslizamiento. Además, asumir que las partículas son infinitesimales pequeñas, esto implica que no hay interacción entre partículas, únicamente con el talud y las barreras, es decir, el programa toma como que si cada roca fuera la única presente en la simulación.

Aunque se considera que las rocas no tienen ningún tamaño, se considera que tienen masa. La masa es únicamente utilizada para calcular la energía cinética para crear los gráficos y presentar los resultados.

### **Algoritmo del proyectil**

Este algoritmo asume que la roca tiene alguna velocidad inicial que la va mover por el aire, de su ubicación presente a una nueva ubicación donde la roca va a golpear otro objeto. El trayecto que va a seguir, por efectos de la gravedad y descrito en la física clásica es el de una parábola.

El objetivo de este algoritmo es encontrar la ubicación de la interacción entre la parábola y algún otro elemento (barrera o talud). Una vez ubicado este punto, el impacto es calculado de acuerdo a los coeficientes de restitución.

### **Algoritmo del deslizamiento**

Este algoritmo es utilizado para calcular el movimiento de las rocas una vez que haya acabado el algoritmo de proyectil. Las rocas pueden deslizar en cualquier segmento del talud y en cualquier barrera.

La roca puede deslizar en cualquier ubicación y debe tener una velocidad inicial ya sea hacia arriba o hacia abajo del talud. Únicamente la velocidad tangencial es considerada a la hora de usar las ecuaciones.

#### **2.8.6.5 Datos de ingreso**

Existen distintos parámetros de ingreso del programa. En el siguiente cuadro se resumen los parámetros de entrada para cada dato particular.

**Tabla 10**

*Parámetros de ingreso*

<b>Bloque Rocoso</b>	<b>Masa</b>
	Velocidad lineal inicial
	Velocidad horizontal
	Velocidad Vertical
	Velocidad Angular inicial
	Posición de los bloques

<b>Talud</b>	Geometría
	Materiales
	Coeficientes de Restitución Normal
	Coeficientes de Restitución Tangencial
	Angulo de fricción
	Rugosidad del talud
<b>Condiciones de Análisis</b>	Cantidad de rocas
	Intervalo de análisis

Fuente: Elaboración propia, 2019

#### 2.8.6.6 Información de Salida

Dentro de la información que se puede obtener por medio del programa se encuentran:

La altura de los saltos de los bloques, en relación con la superficie.

- La energía cinética total, en cualquier punto.
- La energía cinética traslacional, en cualquier punto.
- La energía cinética rotacional, en cualquier punto.
- La velocidad traslacional, en cualquier punto.
- La velocidad rotacional, en cualquier punto.
- La ubicación final de los bloques.

#### 2.8.7 Identificación de los riesgos

##### 2.8.7.1 Antecedentes de riesgos

En abril del 2015 se produjeron caídas de rocas como se muestra en la fotografía posterior, esto ocasionó la clausura de la vía principal que une los distritos de Tarapoto y la Banda de Shilcayo.



**Fotografía 4.** Caída de rocas en zona vial urbana en la Alameda Shilcayo. Fuente: (Diario Voces)



**Fotografía 5.** Caos vehicular ocasionado por la caída de rocas. Fuente: (Diario Voces)

Dicho acontecimiento dejó un precedente para la determinación de un riesgo permanente en la zona, ya que los factores climáticos infieren de una manera intensa y no hace más que elaborar un plan de contingencia para la mitigación de riesgo, ya que la amenaza contra las estructuras vehiculares y la vida humana son muy altas.

#### 2.8.7.2 Actualidad de riesgos

Se procedió a identificar los riesgos existentes en diferentes zonas de la Alameda, como se puede observar en las imágenes la cercanía entre la vía y el talud hace que ante un caso de desprendimiento de rocas las probabilidades de pérdidas humanas sean muy altas.



La distancia entre el primer carril y el pie del talud es de 1.5 m

**Fotografía 6.** Distancia entre el primer carril y el talud.



La distancia entre el segundo carril y el pie del talud es de 2.5 m

**Fotografía 7.** Distancia entre el segundo carril y el talud.

### 2.8.8 Áreas de riesgo estudiadas

Con el fin de realizar un análisis por partes de las diferentes zonas existentes en la ubicación de estudio se muestran tres distintas áreas, como se muestra en la Figura 31. El área total de las 3 zonas estudiadas fue de aproximadamente 3429.5 m<sup>2</sup> con un perímetro aproximado de 358 m.



**Figura 30.** División de la zona estudiada. Fuente: Google Earth (Elaboración propia)

#### 2.8.8.1 Zona 1

En el recorrido por esta zona se evidenció la presencia de rocas de grandes dimensiones con un volumen aproximado de 3.24 m<sup>3</sup> y 2.38 m<sup>3</sup> respectivamente.



**Fotografía 8.** Mediciones de las rocas encontradas.

Esta zona presenta un área de aproximadamente 1 269.75 m<sup>2</sup>, es la zona con mayor extensión, tiene una pendiente aproximada de 44.55%.



**Fotografía 9.** Presencia de árboles-zona1.





**Fotografía 10.** Presencia de numerosas rocas-zona1.

#### **2.8.8.2 Zona 2**

Contiene una pendiente mayor de aproximadamente 73.41%, posee más presencia de árboles y vegetación, las rocas en esta zona tienen una ubicación difícil de acceder ya que están en la pendiente del talud, lo que dificultó el ingreso a la zona. Presenta un área aproximada de 1155.50 m<sup>2</sup>



**Fotografía 11.** Presencia de vegetación y rocas impregnadas-zona2.

#### **2.8.8.3 Zona 3**

Contiene la mayor pendiente (114.14%) y en su gran parte un suelo rocoso, el recorrido no fue posible ya que las condiciones del talud no brindaban la seguridad necesaria, el área aproximada de esta zona es de 1004.25 m<sup>2</sup>



**Fotografía 12.** Pendiente y rocas de gran dimensión encontradas-zona3.

### 2.8.9. Patrones de posibles rutas de deslizamientos

Se presenció un fenómeno de erosión en el talud que perfilaba un cauce para el recorrido de algunas rocas, con ello ubicaron algunos perfiles para el análisis.





*Fotografía 13.* Patrón de deslizamientos.

### 2.8.10. Dimensiones de las rocas

**Tabla 11**

*Dimensiones de las rocas encontradas*

Ubicación	Dimensión	Fotografía	Volumen
<b>Zona 1</b>	0.7 m x 0.85 m x 0.70 m		0.42 m <sup>3</sup>
<b>Zona 1</b>	1.0 m x 0.80 m x 0.80 m		0.64 m <sup>3</sup>



---

**Zona 1**      1.6 m x 1.10  
                    m x 1.20 m



2.11 m<sup>3</sup>

---

**Zona 1**      1.80 m x 1.50  
                    m x 1.20 m



3.24 m<sup>3</sup>

---

**Zona 1**      1.20 m x 1.60  
                    m x 1.10 m



2.11 m<sup>3</sup>

---

Fuente: (Elaboración propia)

El tamaño promedio de las rocas oscila entre 1.70 m<sup>3</sup> y 1.75 m<sup>3</sup>. Según las referencias bibliográficas. Se usó un peso específico de 2.85 ton/ m<sup>3</sup> teniendo un peso total de 5.0 ton cada roca.

**Tabla 12***Valorización de vulnerabilidad y condición de alerta*

Sector	Tipo de Amenaza	Nivel de vulnerabilidad		Condición de Alerta
		Infraestructura física	Vidas Humanas	
Zona 1	Caída de rocas	Medio	Alto	Rojo
Zona 2	Caída de rocas	Medio	Alto	Rojo
Zona 3	Caída de rocas	Medio	Alto	Rojo

Fuente: (Ingeotec, 2011)

**2.8.11. Método de falla**

Tomando en cuenta las referencias bibliográficas, con la visita de campo realizada se pudo constatar que nos lleva a tener el tipo de falla por caídos según la tabla 1.

**Tabla 13***Falla por caídos*

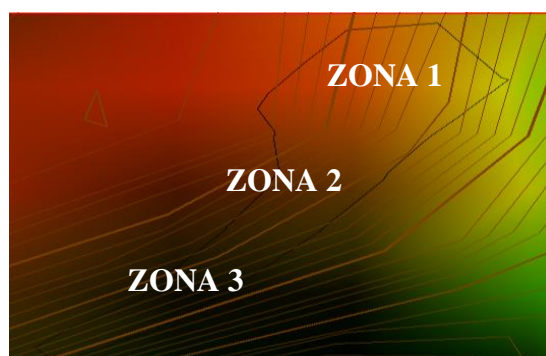
Modo de falla	Descripción	Observaciones
Caídos	Bloques sueltos que pueden volcarse o deslizarse por caída libre a saltos o rodando	Se pueden predecir las trayectorias de los bloques, utilizando programas de software

Fuente: (Suarez, 2000)

**2.8.12. Análisis de las pendientes****Tabla 14***Colorimetría del análisis de pendientes*

Zona	Pendiente Mínima	Pendiente Máxima	Pendiente Promedio	Color
Zona 1	26.49 %	44.55 %	35.52 %	
Zona 2	63.95 %	73.41 %	68.68 %	
Zona 3	86.63 %	114.14 %	100.38 %	

Fuente: (Elaboración propia)

**Figura 31.** Análisis de pendientes. Fuente: Global Mapper v.20.0 (Elaboración propia)

**Tabla 15***Categorización de las pendientes*

Clase de pendiente		Condiciones del terreno
(°)	(%)	
0-2	0-2	Planicie, sin denuacion apreciable
2-4	2-7	Pendiente muy baja, peligro de erosión
4-8	7-15	Pendiente baja, peligro severo de erosión
8-16	15-30	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro de erosión severo.
16-35	30-70	Pendiente fuerte, proceso denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos
35-55	70-140	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, proceso denudacionales intensos, reforestación posible
>55	>140	Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, proceso denudacionales severos (caída de rocas), cobertura vegetal limitada

Fuente: Van Zuidam, 1986

**2.8.13. Coeficiente de restitución**

Resumen de los valores de los coeficientes de restitución aplicables al caso de estudio.

**Tabla 16***Valores de coeficiente de restitución aplicables al caso de estudio*

RN (Normal)	RT (Tangencial)	Tipo de Superficie	Referencia
<b>0,37</b>	0,87	Roca sana o roca con poco suelo o vegetación	Pfeiffer, T.J, and Bowen, T.D., "Computer Simulation of Rockfalls." Bulletin of Association of Engineering Geologists. Vol. 26, N°. 1. 1989. Pp1135-146
<b>0,33</b>	0,87	Talud con vegetación	Feedback from user Rockfall v3
<b>0,32</b>	0,83	Talud cubierto de vegetación	Hoek, Evert. "Unpublished notes" NSERC Industrial Research Professor of Rock Engineering, Department of Civil Engineering, University of Toronto, St George Street, Toronto, Ontario, Canada M5S 1A4

Fuente: Resumen de datos de la tabla A1 (Ven en Anexo A)

Se usó para el coeficiente normal para el talud en estudio fue de 0,37 y para el coeficiente tangencial es de 0,87.

#### 2.8.14. Simulación de la caída de rocas

Recopilando información del proceso, agregando los resultados del estudio de suelo y geotecnia, se procedió a realizar la simulación en el programa.

##### 2.8.14.1 Descripción del proceso de simulación

El análisis típico de Rocfall se pudo realizar en pocos minutos y constó de los siguientes pasos:

- Definición del talud
- Definición del tipo de material para el talud
- Asignación de los materiales a los segmentos del talud
- Definición de las condiciones iniciales de la roca (Ubicación, masa y velocidad)
- Definición de la ubicación de las barreras
- Establecer los parámetros para los resultados deseados
- Cálculo del análisis
- Representación gráfica los resultados

##### 2.8.14.2 Definición del talud

Se colocó cada par de coordenadas correspondiente a cada cota de curva de nivel para los 9 perfiles propuestos.

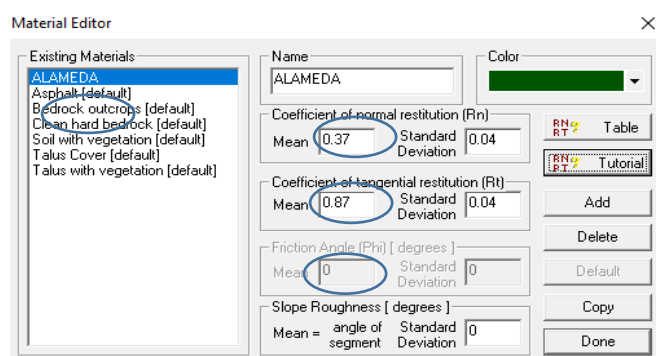
Slope Editor

Vertex	X [ m ]	std dev	Y [ m ]	std dev
4	2.23	0	331	0
5	3.1	0	330	0
6	4.06	0	329	0
7	4.87	0	328	0
8	5.73	0	327	0
9	6.24	0	326	0
10	7.47	0	325	0
11	8.84	0	324	0

**Figura 32.** Colocación de las coordenadas en el programa. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)

##### 2.8.14.3 Definición del tipo de material para el talud

Se creó un nuevo material denominado “ALAMEDA”, se colocó los parámetros como, coeficiente de restitución, ángulo de fricción.



**Figura 33.** Colocación del tipo de material del talud.  
Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)

#### 2.8.14.4 Asignación de los materiales a los segmentos del talud

Se asignó el nuevo material “ALAMEDA” a todo el tramo de cada perfil

Slope Editor

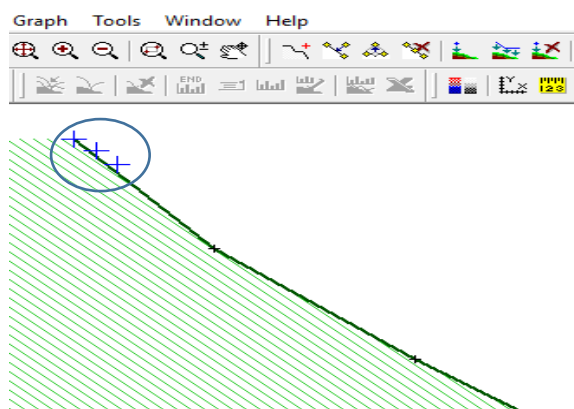
Vertex	X [ m ]	std dev	Y [ m ]	std dev	Material
4	2.23	0	331	0	ALAMEDA
5	3.1	0	330	0	ALAMEDA
6	4.06	0	329	0	ALAMEDA
7	4.87	0	328	0	ALAMEDA
8	5.73	0	327	0	ALAMEDA
9	6.24	0	326	0	ALAMEDA
10	7.47	0	325	0	ALAMEDA
11	8.84	0	324	0	ALAMEDA
12	9.60	0	323	0	ALAMEDA

☐ Use standard deviations when generating slope vertices    Common std dev...    Copy    OK    Cancel

**Figura 34.** Colocación del material a cada segmento del talud. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)

#### 2.8.14.5 Definición de las condiciones iniciales de la roca (Ubicación, masa y velocidad)

En primer lugar, la ubicación se estableció al inicio del talud para una mayor condición desfavorable en los resultados.



**Figura 35.** Colocación de la ubicación inicial de la roca. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)

Posteriormente se agregaron las condiciones iniciales para la roca, tales como la masa y la velocidad inicial

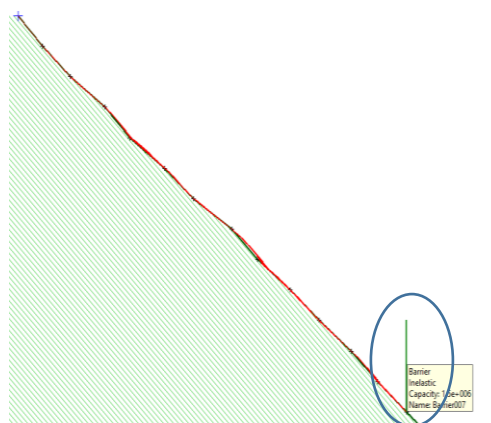
	Mean	Std Dev.
Horizontal velocity [m/s]	0	0
Vertical velocity [m/s]	0	0
Mass [Kg]	5000	0
Angular Velocity [rad/s]	0	0

OK Cancel

**Figura 36.** Colocación de masa y velocidad en condiciones iniciales de la roca. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)

#### 2.8.14.6 Definición de la ubicación de las barreras

Se colocó la barrera luego de tener los primeros resultados de energía, para con ellos saber cuánto es el impacto en cada barrera.

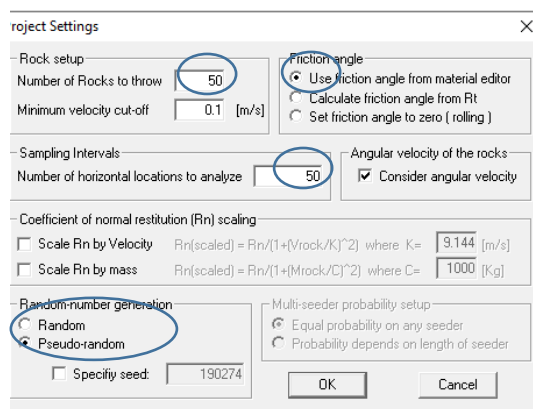


**Figura 37.** Ubicación de las barreras acorde al análisis requerido. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)

#### 2.8.14.7 Establecer los parámetros para los resultados deseados

Se estableció parámetros como número total de rocas (50), consideración de la velocidad angular, uso del ángulo de fricción y la generación de resultados Pseudo-random.

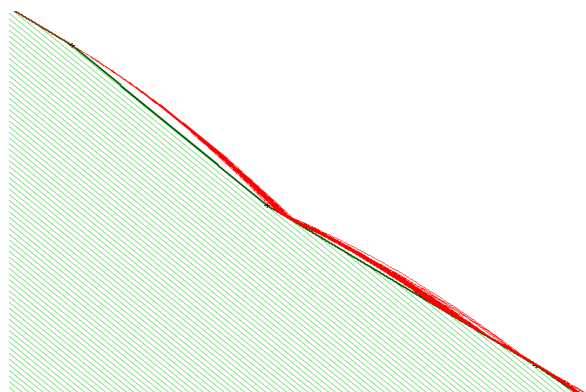




**Figura 38.** Colocación de los parámetros finales previo al análisis. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)

#### 2.8.14.8 Cálculo del análisis

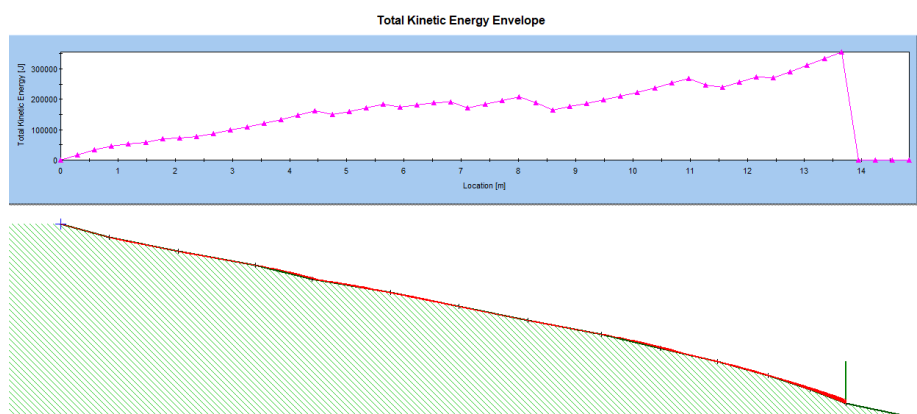
Se inicio con la corrida del programa obteniendo los resultados de la trayectoria de las rocas



**Figura 39.** Trayectoria de la roca en el proceso de simulación. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)

#### 2.8.14.9. Representación gráfica de los resultados

Los resultados se mostraron también de forma gráfica.



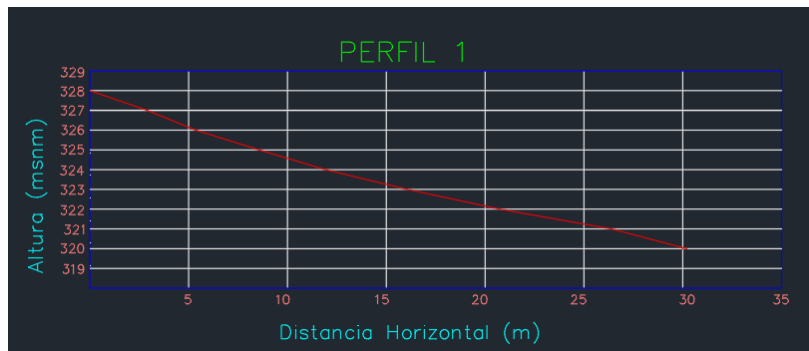
**Figura 40.** Gráfico proveniente de la corrida del programa. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Resultados

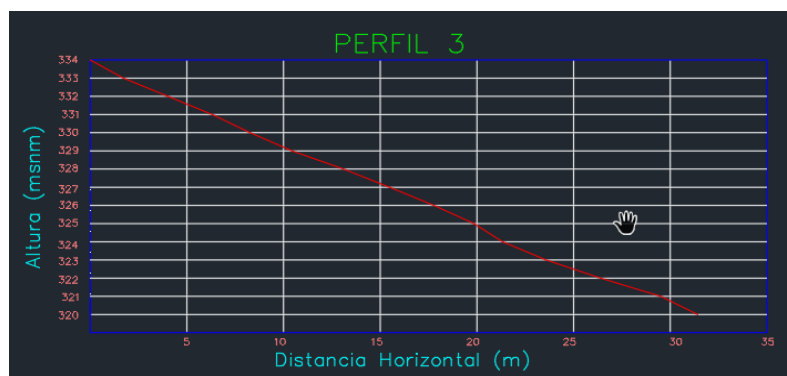
##### 3.1.1. Resultados del estudio topográfico



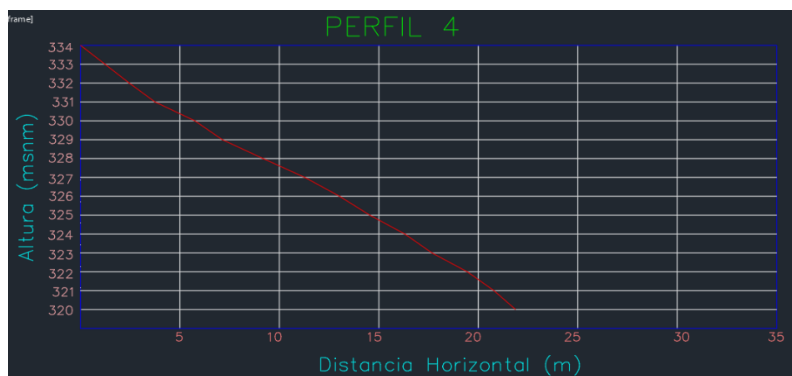
**Figura 41.** Perfil topográfico de la sección 1. Fuente: AutoCAD (Elaboración propia)



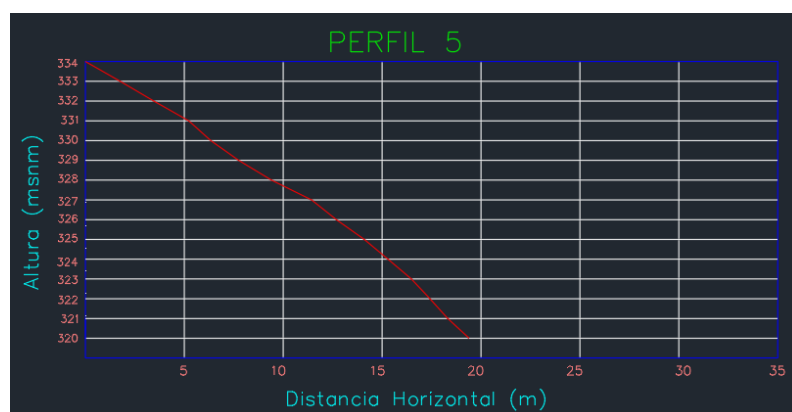
**Figura 42.** Perfil topográfico de la sección 2. Fuente: AutoCAD (Elaboración propia)



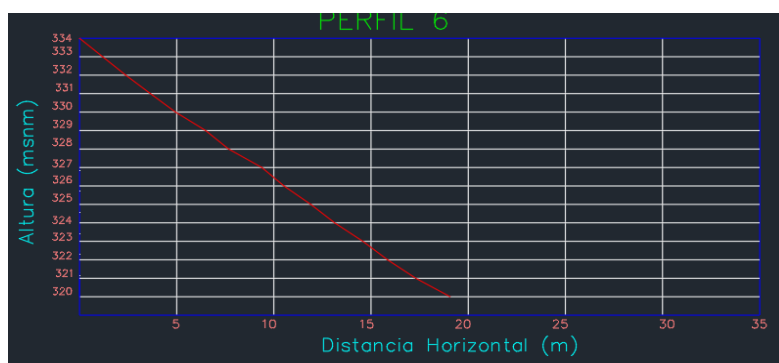
**Figura 43.** Perfil topográfico de la sección 3. Fuente: AutoCAD (Elaboración propia)



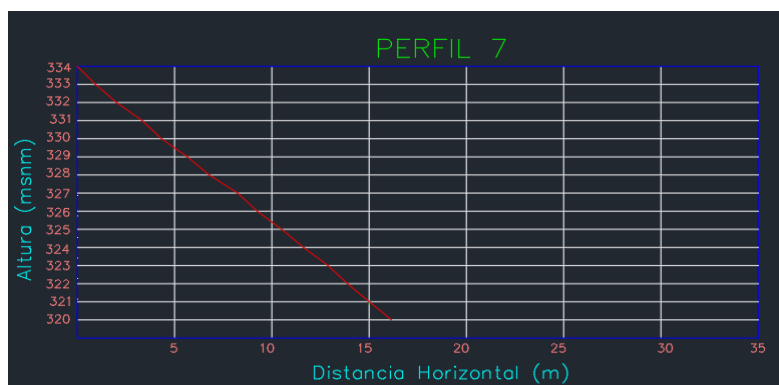
**Figura 44.** Perfil topográfico de la sección 4. Fuente: AutoCAD (Elaboración propia)



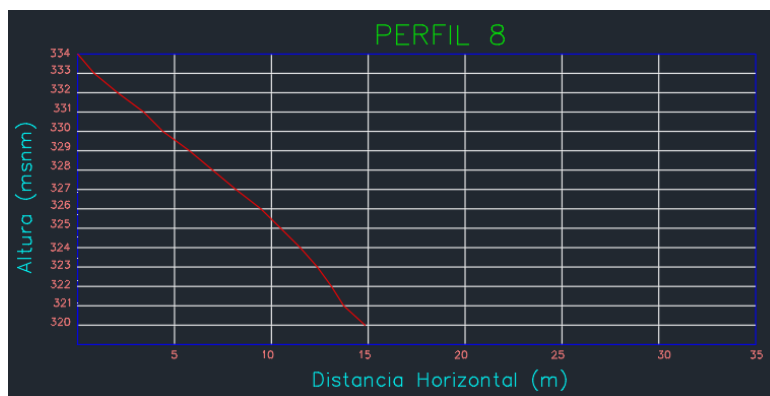
**Figura 45.** Perfil topográfico de la sección 5. Fuente: AutoCAD (Elaboración propia)



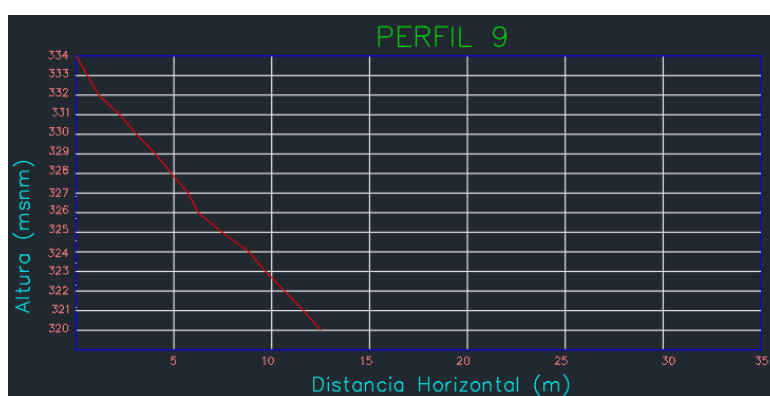
**Figura 46.** Perfil topográfico de la sección 6. Fuente: AutoCAD (Elaboración propia)



**Figura 47.** Perfil topográfico de la sección 7. Fuente: AutoCAD (Elaboración propia)



**Figura 48.** Perfil topográfico de la sección 8. Fuente: AutoCAD (Elaboración propia)

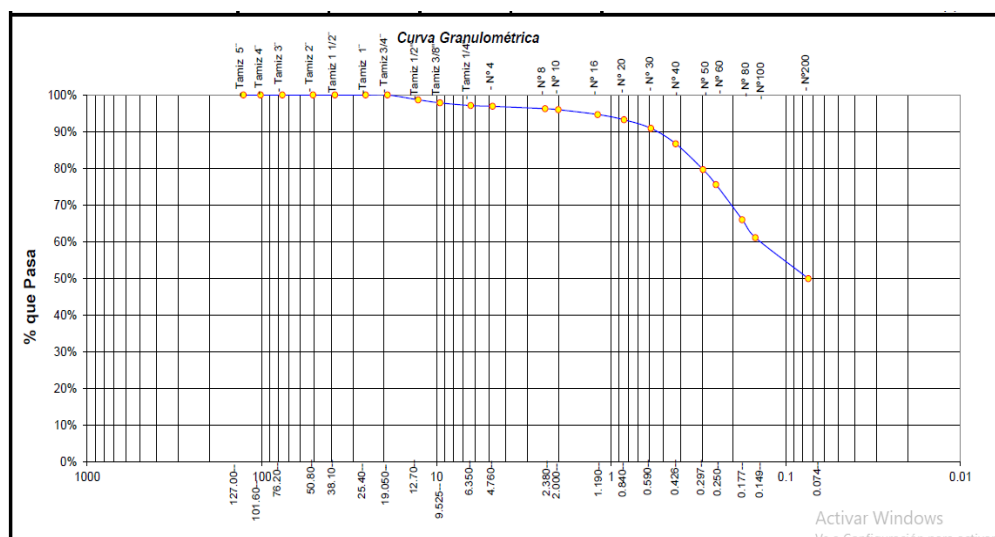


**Figura 49.** Perfil topográfico de la sección 9. Fuente: AutoCAD (Elaboración propia)

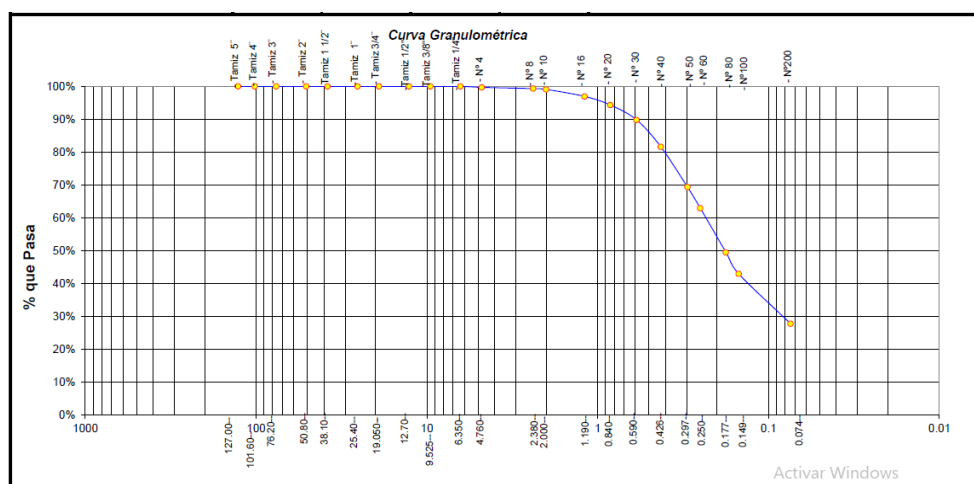
### 3.1.2. Resultados del estudio de mecánica de suelos y geotecnia

Se obtuvieron los siguientes gráficos:

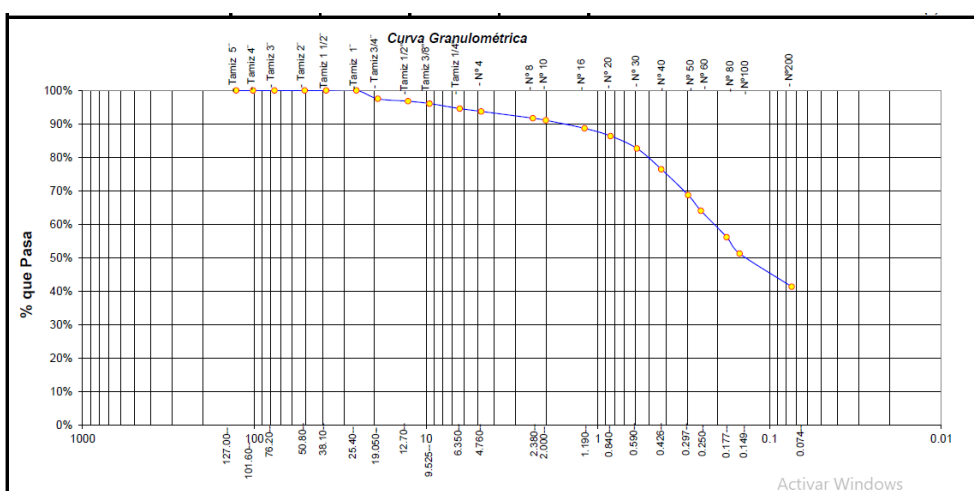
#### Del ensayo de Análisis Granulométrico (NTP 339.128 /ASTM D422)



**Figura 50.** Curva Granulométrica de la C-01/ M-II (0.60-1.00 m)



**Figura 51.** Curva Granulométrica de la C-01/ M-III (0.10-1.30 m)



**Figura 52.** Curva Granulométrica de la P-01/ M-II (0.90-1.60 m)



**Figura 53.** Perfil estratigráfico realizada en el área de estudio.

**Tabla 17***Resumen de los resultados de mecánica de suelos*

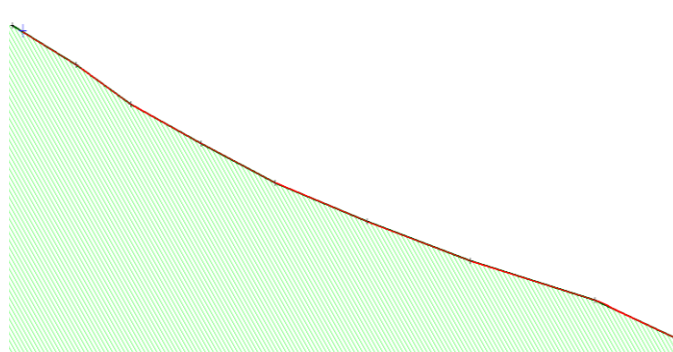
Calicata o punto de exploración	Profundida d de muestra (m)	RESULTADOS											Clasificación	
		Granulometría				Propiedades Índices			Nivel Freático o (m)	Parámetros		Humedad Natural %		
										Geotécnicos				
		Malla	Malla	Malla	Malla	L.L	L.P	I.P		θ°	C		Sucs	Aashto
		# 4	# 10	# 40	# 200	%	%	%			kg/cm <sup>2</sup>			
C-01 / M II	0.60 - 1.00	96.90	95.98	86.71	49.89	32.60	18.92	13.6	N. P	21.00	0.22	8.56	SC	A-6(4)
		%	%	%	%			8						
C-01/ MIII	1.00 – 1.30	99.71	99.08	81.59	27.68	N. P	N. T	N. P	N. P	-	-	2.38	SM	A-2-4(0)
		%	%	%	%									
P-01 / M II	0.90 – 1.60	93.73	91.08	76.45	41.28	34.50	17.52	16.9	N. P	-	-	20.80	SC	A-6(3)
		%	%	%	%			8						

**Fuente:** Resultados del estudio de mecánica de suelos realizados en el laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos de la FICA

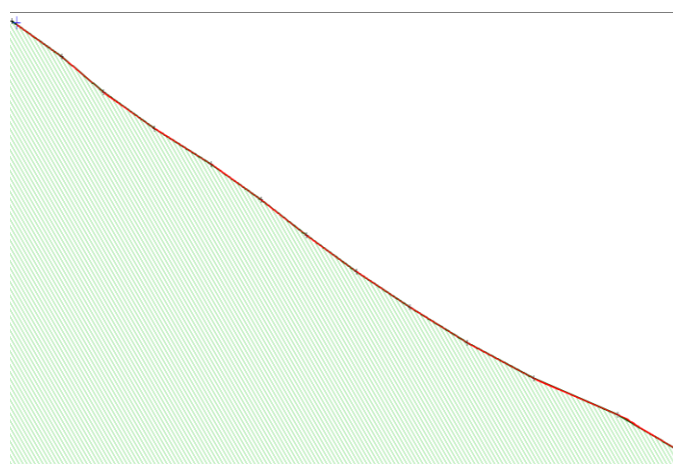
### 3.1.3. Resultados del programa Rocfall v 4.0

#### 3.1.3.1 Resultados de las ubicaciones óptimas según mostró las corridas del programa

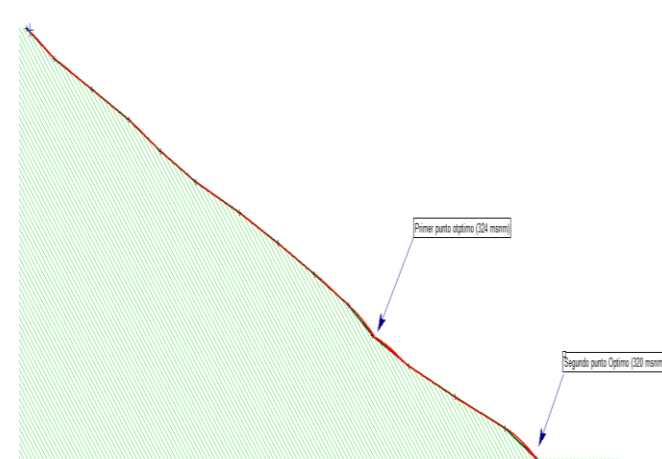
La simulación en el programa nos mostró los siguientes resultados:



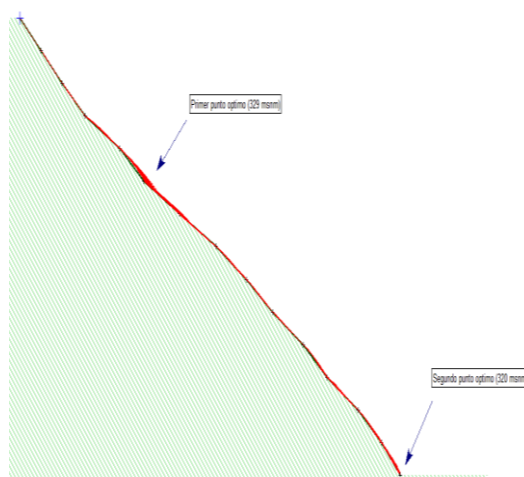
**Figura 54.** Corrida para el Perfil 1. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)



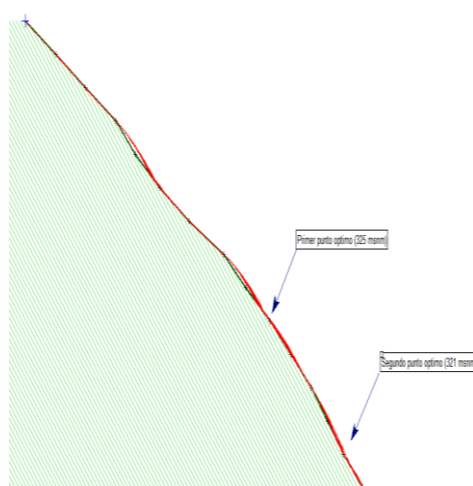
**Figura 55.** Corrida para el Perfil 2. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)



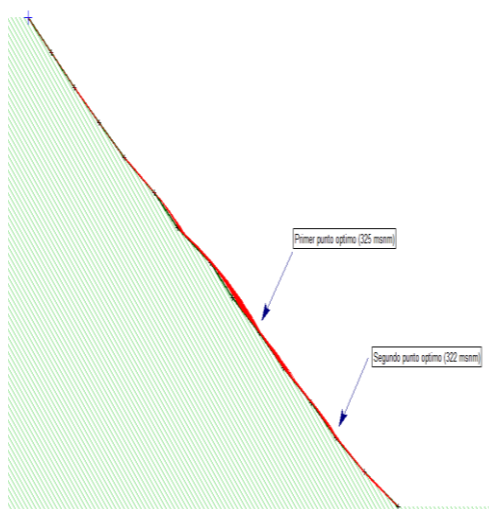
**Figura 56.** Corrida para el Perfil 3. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)



**Figura 57.** Corrida para el Perfil 4. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)

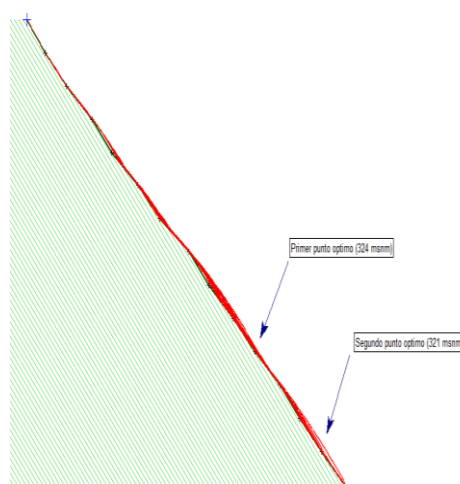


**Figura 58.** Corrida para el Perfil 5. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)

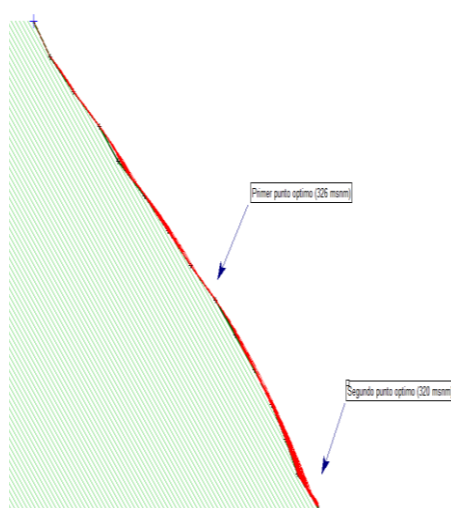


**Figura 59.** Corrida para el Perfil 6. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)

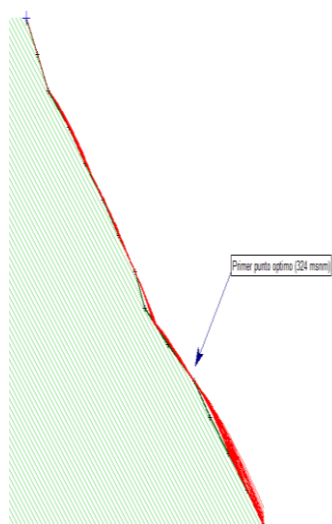




**Figura 60.** Corrida para el Perfil 7. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)



**Figura 61.** Corrida para el Perfil 8. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)



**Figura 62.** Corrida para el Perfil 9. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)

**Tabla 18***Ubicaciones óptimas para la barrera según el perfil*

Perfil	Latitud/Longitud	Ubicación 1	Ubicación 2	
<b>1</b>	6°29'23.04"S 76°21'25.15"O	A conveniencia	A conveniencia	ZONA 1
<b>2</b>	6°29'23.42"S 76°21'25.43"O	A conveniencia	A conveniencia	
<b>3</b>	6°29'23.71"S 76°21'25.60"O	324 msnm	320 msnm	ZONA 2
<b>4</b>	6°29'24.07"S 76°21'25.86"O	329 msnm	320 msnm	
<b>5</b>	6°29'24.44"S 76°21'26.11"O	325 msnm	321 msnm	
<b>6</b>	6°29'24.91"S 76°21'26.51"O	325 msnm	322 msnm	ZONA 3
<b>7</b>	6°29'25.25"S 76°21'26.85"O	324 msnm	321 msnm	
<b>8</b>	6°29'25.59"S 76°21'27.19"O	326 msnm	320 msnm	
<b>9</b>	6°29'25.80"S 76°21'27.56"O	324 msnm	A conveniencia	

Fuente: Elaboración propia, 2019

### 3.1.3.2 Resultados de las Energías, velocidades y alturas obtenidas de la corrida del programa

Se muestran los resultados de las 5 últimas cotas de cada perfil, la siguiente tabla es el resumen de los cálculos mediante iteraciones para la obtención de los datos exactos:

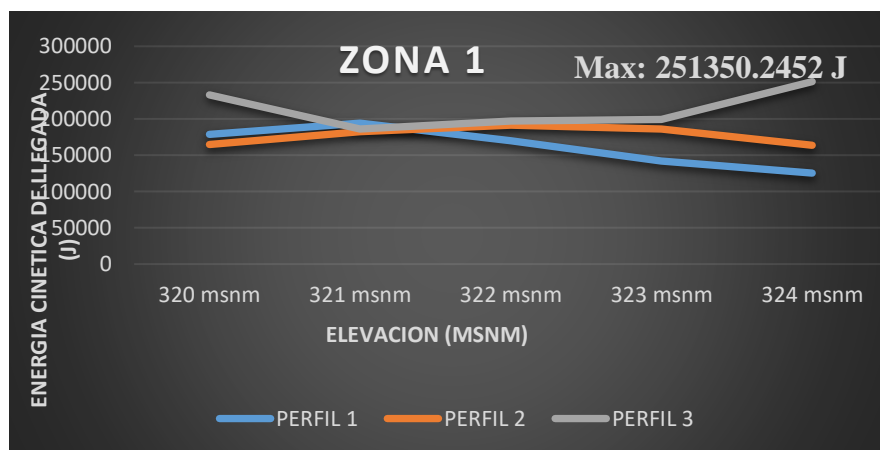
**Tabla 19***Análisis de posibles ubicaciones de la barrera*

Perfil	Ubicación de la Barrera	Energía Cinética de llegada (J)	Velocidad de llegada (m/s)	Altura de llegada (m)
<b>1</b>	324 msnm	125369.2170	6.0944	Despreciable
<b>1</b>	323 msnm	142221.7280	6.5281	Despreciable
<b>1</b>	322 msnm	169823.9760	7.1881	Despreciable
<b>1</b>	321 msnm	194179.0571	7.8084	Despreciable

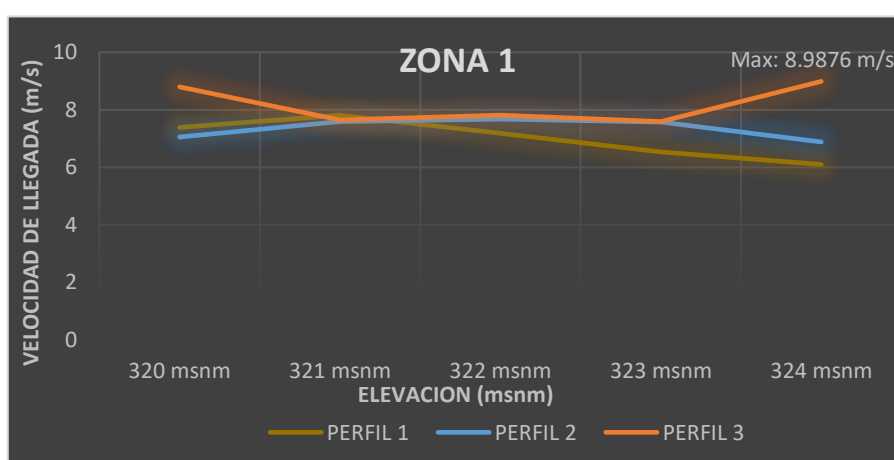
<b>1</b>	320 msnm	178983.4520	7.3856	Despreciable	<b>ZONA 1</b>
<b>2</b>	324 msnm	163696.4164	6.8780	Despreciable	
<b>2</b>	323 msnm	185931.7754	7.5757	Despreciable	
<b>2</b>	322 msnm	191377.9271	7.6753	Despreciable	
<b>2</b>	321 msnm	182708.4652	7.5805	Despreciable	
<b>2</b>	320 msnm	164482.9870	7.0550	Despreciable	
<b>3</b>	324 msnm	251350.2452	8.9876	Despreciable	
<b>3</b>	323 msnm	199242.5389	7.5880	Despreciable	
<b>3</b>	322 msnm	197204.7862	7.8144	Despreciable	
<b>3</b>	321 msnm	186102.4665	7.6527	Despreciable	
<b>3</b>	320 msnm	232737.1867	8.7876	Despreciable	
<b>4</b>	324 msnm	153752.3256	6.9604	Despreciable	<b>ZONA 2</b>
<b>4</b>	323 msnm	183679.6679	7.6430	Despreciable	
<b>4</b>	322 msnm	160957.4964	7.0698	Despreciable	
<b>4</b>	321 msnm	192037.1068	7.7377	Despreciable	
<b>4</b>	320 msnm	222608.0962	8.3487	Despreciable	
<b>5</b>	324 msnm	278677.9936	9.3090	Despreciable	
<b>5</b>	323 msnm	248952.1511	8.5269	Despreciable	
<b>5</b>	322 msnm	294200.4291	9.5051	Despreciable	
<b>5</b>	321 msnm	336289.0606	10.2935	Despreciable	
<b>5</b>	320 msnm	336698.4587	10.0771	Despreciable	
<b>6</b>	324 msnm	266062.8023	8.9126	Despreciable	<b>ZONA 3</b>
<b>6</b>	323 msnm	193056.4722	7.6517	Despreciable	
<b>6</b>	322 msnm	169930.0392	6.9923	Despreciable	
<b>6</b>	321 msnm	149045.7294	6.7530	Despreciable	
<b>6</b>	320 msnm	157172.1135	7.0162	Despreciable	
<b>7</b>	324 msnm	190748.7493	7.4255	Despreciable	
<b>7</b>	323 msnm	174676.7906	7.3825	Despreciable	
<b>7</b>	322 msnm	221675.7970	8.5622	Despreciable	
<b>7</b>	321 msnm	177359.7147	7.1821	Despreciable	
<b>7</b>	320 msnm	202614.2386	7.9663	Despreciable	
<b>8</b>	324 msnm	247935.7414	8.5611	Despreciable	<b>ZONA 3</b>
<b>8</b>	323 msnm	273796.3382	9.2131	Despreciable	
<b>8</b>	322 msnm	312993.3340	9.9080	Despreciable	
<b>8</b>	321 msnm	355660.4587	10.8016	Despreciable	
<b>8</b>	320 msnm	320750.8358	9.8419	Despreciable	
<b>9</b>	324 msnm	241818.0488	8.4598	Despreciable	
<b>9</b>	323 msnm	278248.2666	9.2810	Despreciable	
<b>9</b>	322 msnm	329391.1010	10.7849	Despreciable	
<b>9</b>	321 msnm	378358.2410	11.2524	Despreciable	
<b>9</b>	320 msnm	389388.3291	10.9523	Despreciable	

Fuente: Elaboración propia, 2019

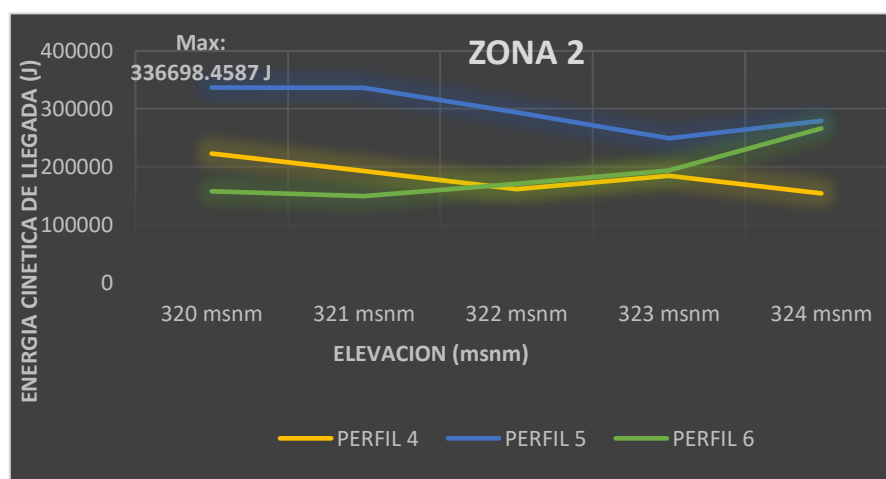
Los resultados se representan de una mejor manera en los siguientes gráficos, que muestran el comportamiento de la energía y velocidad de las rocas.



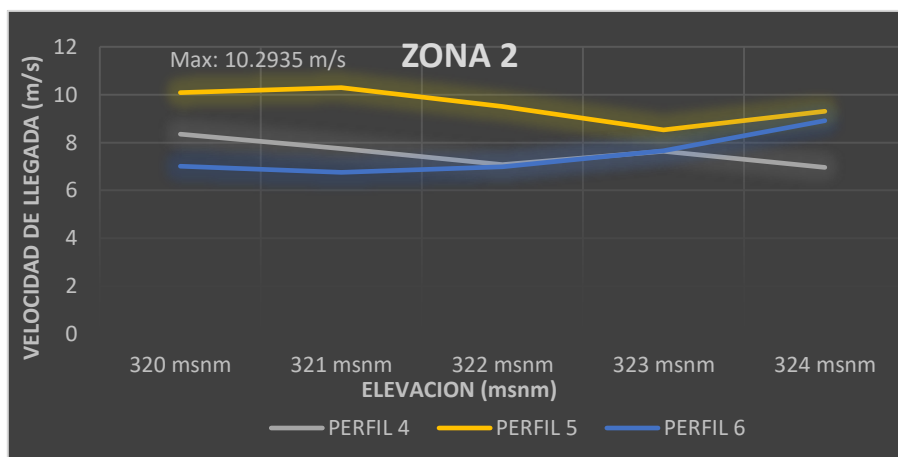
**Figura 63.** Comportamiento de la energía de llegada en la Zona 1. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)



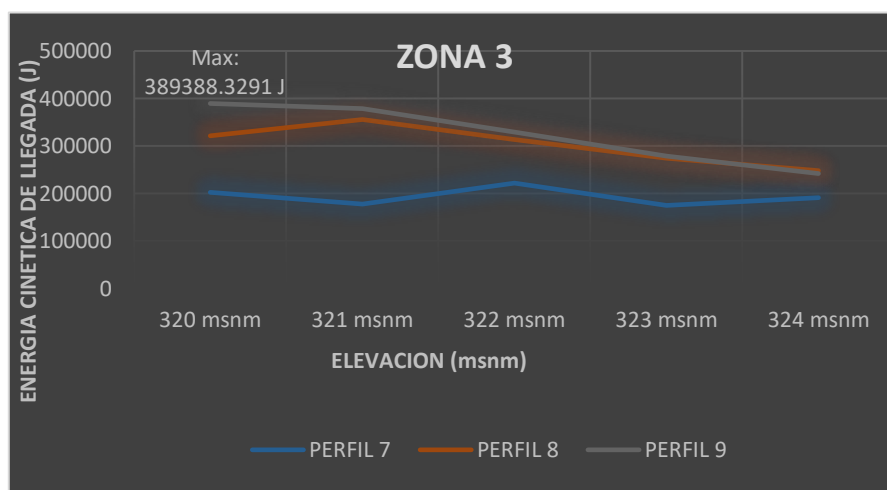
**Figura 64.** Comportamiento de la velocidad de llegada en la Zona 1. (Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)



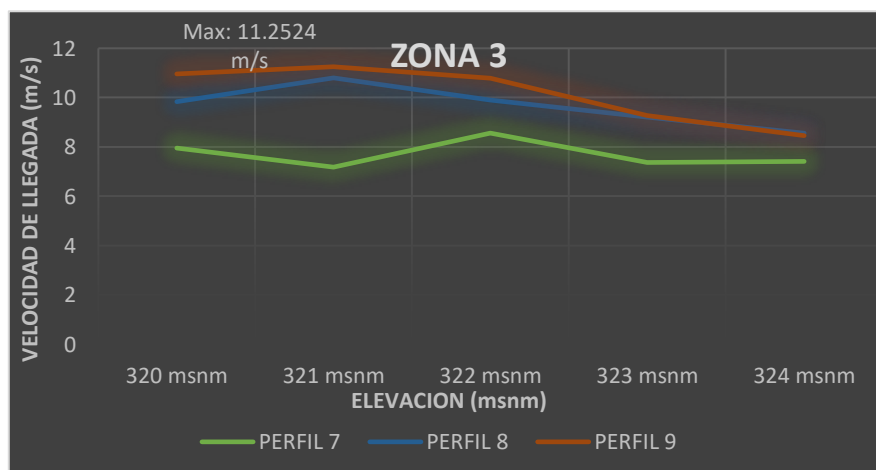
**Figura 65.** Comportamiento de la energía de llegada en la Zona 2. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)



**Figura 66.** Comportamiento de la velocidad de llegada en la Zona 2. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)



**Figura 67.** Comportamiento de la energía de llegada en la Zona 3. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)



**Figura 68.** Comportamiento de la velocidad de llegada en la Zona 3. Fuente: Rocfall v4.0 (Elaboración propia)

Se resumen los valores en la siguiente tabla, para conocer el comportamiento y la ubicación de los máximos parámetros.

**Tabla 20**

Determinación de los máximos parámetros para el dimensionamiento de la barrera

<b>Zona</b>	<b>Perfil</b>	<b>Energía de llegada (J)</b>	<b>Cota (msnm)</b>	<b>Velocidad de llegada (m/s)</b>	<b>Cota (msnm)</b>
<b>1</b>	3	251350.2452	324	8.9876	324
<b>2</b>	5	336289.0606	320	10.2935	321
<b>3</b>	9	389388.3291	320	11.2524	321

Fuente: Elaboración propia, 2019

### 3.1.4. Dimensionamiento de la barrera

El dimensionamiento de la barrera se realiza según la norma ETAG 027

**Tabla 21**

*Datos para el dimensionamiento de la barrera*

<b>ITEM</b>	<b>ZONA 1</b>	<b>ZONA 2</b>	<b>ZONA 3</b>	<b>UNIDAD</b>
Simulación desarrollada con	50	50	50	Rocas
Pendiente promedio	35.52%	68.68%	100.38%	Grados
Peso de la roca	5000	5000	5000	kg
Velocidad (traslacional)	8.98	10.29	11.25	m/s
Altura propuesta para la barrera	4.0	4.0	4.0	m
Angulo de fricción (del estudio de mecánica de suelos y geotecnia)	21°	21°	21°	Grados
Energía de diseño obtenida por la simulación	251.35	336.29	389.38	KJ

Fuente: Elaboración propia, 2019

#### 3.1.4.1 Diseño por Nivel de Energía Máximo (MEL) y de Servicio (SEL)

La norma ETAG 027 establece criterios para escoger el tipo de diseño con la cual se quiere trabajar, para la presente investigación se hará el análisis por ambos métodos.

$$MEL > \text{¥} SEL; \text{¥}: 3$$

**Tabla 22***Clases de kit de protección contra caída de rocas*

Nivel de Clasificación de Energía	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SEL	-	85	170	330	500	660	1000	1500	>1500
MEL	100	250	500	1000	1500	2000	3000	45000	>4500

Fuente: ETAG 027, abril 2013

**Tabla 23***Determinación de la energía de la barrera usando el diseño MEL Y SEL*

	E. DISEÑO	MEL	SEL
ZONA 1	251.35 KJ	500 KJ	1000 KJ
ZONA 2	336.29 KJ	500 KJ	1500 KJ
ZONA 3	389.38 KJ	500 KJ	1500 KJ

Fuente: Elaboración propia, 2019

**3.1.5. Determinación para una barrera de 500 KJ en el Mercado****Tabla 24***Barrera Dinámica RXE-500-LA / Productor: Geobrugg*

Energía máxima de acuerdo con ETAG 027 (MEL)	500 KJ
Deformación dinámica máxima (MEL)	2.5 m
Altura nominal de la barrera	4.0 m

Fuente: Geobrugg, 2017

**Tabla 25***Verificación de la barrera por medio del diseño MEL*

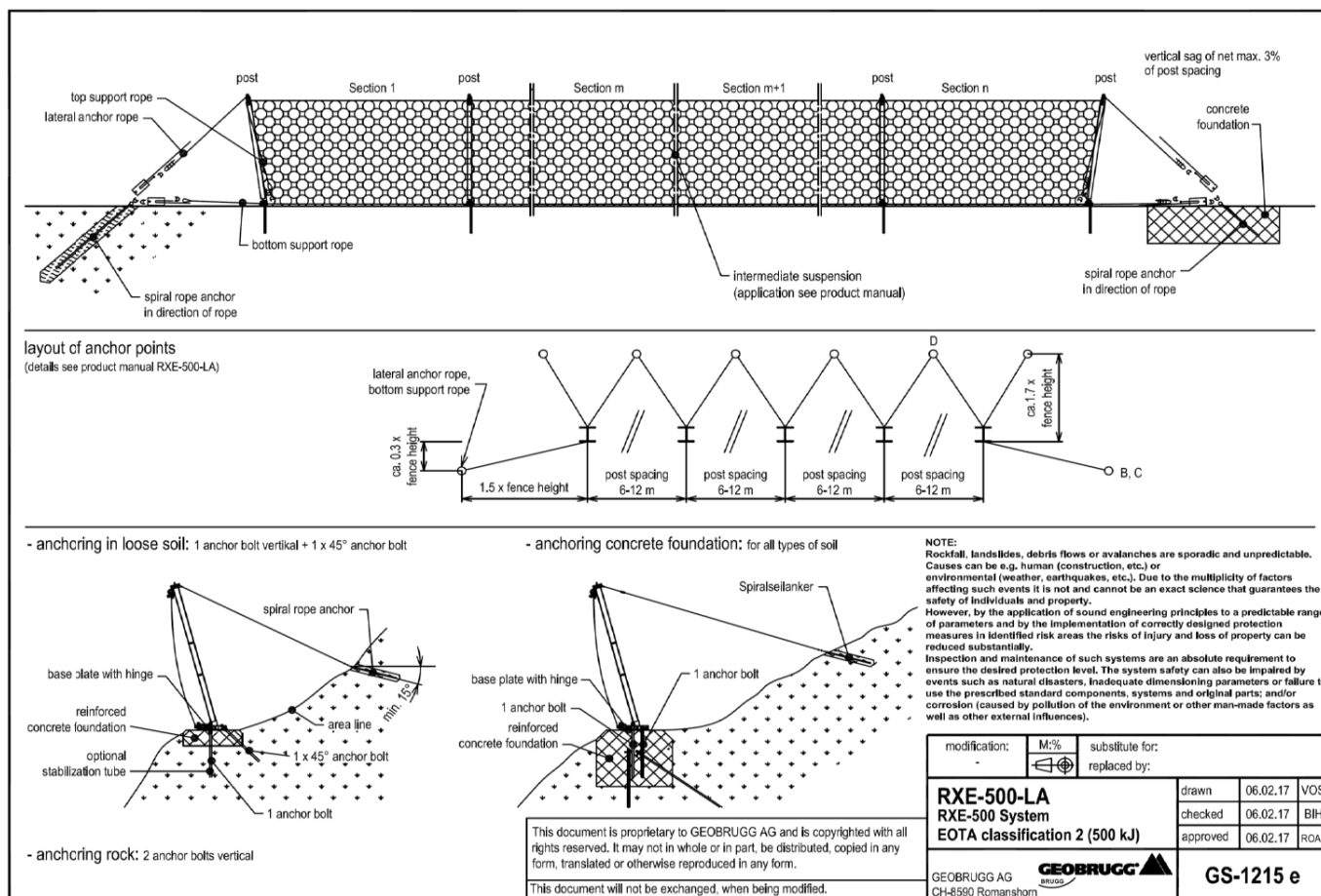
Ubicación	Energía de diseño	Altura	Deformación	MEL	Verificación
Zona 1	251.35 KJ				Eb>Ed Ok
Zona 2	336.29 KJ	4.0 m	2.50 m	500 KJ	Eb>Ed Ok
Zona 3	389.38 KJ				Eb>Ed Ok

Fuente: Elaboración Propia, 2019

### 3.1.6. Descripción de la barrera dinámica RXE-500-LA

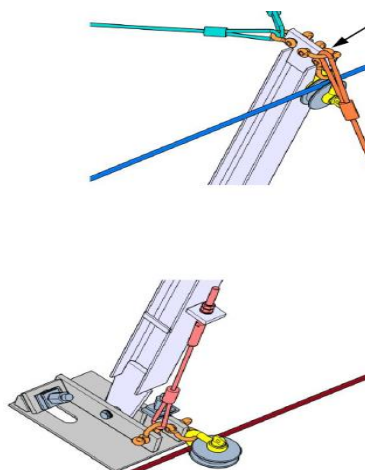
Materiales que se utilizaran en la barrera dinámica son los siguientes:

**Figura 69.** Barrera RXE-500-LA. Fuente: Geobrugg,2017



#### 3.1.6.1 Poste

Perfil de acero HEA160 (Altura 152 mm, ancho de 160 mm, espesor alma 6.0 mm, espesor ala 9.0 mm)

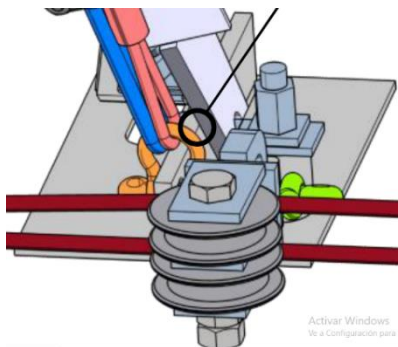


**Figura 70.** Poste HEA 160. Fuente: Geobrugg, 2017



### 3.1.6.2. Placa Base

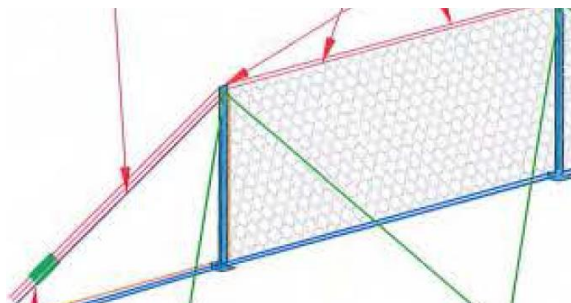
Dimensiones de 450 mm x 450 mm y un espesor de 15 mm



**Figura 71.** Placa Base. Fuente: Geobruigg, 2017

### 3.1.6.3. Cables de acero

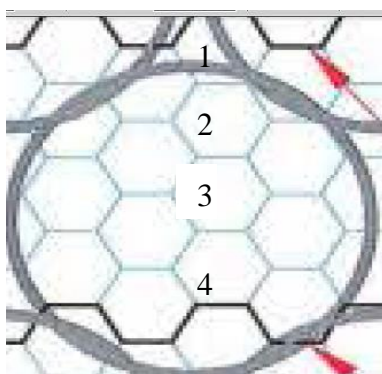
Diámetro de 18 mm, resistente a un esfuerzo de tensión de  $1770 \text{ N/mm}^2$



**Figura 72.** Cables de acero. Fuente: Geobruigg, 2017

### 3.1.6.4. Cables de refuerzo en panel de intercepción

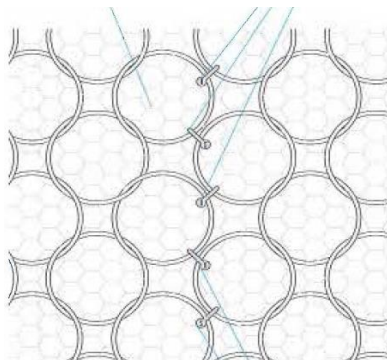
Diámetro de 7 mm, resistente a un esfuerzo de tensión de  $1770 \text{ N/mm}^2$ , cada 4 hexágonos



**Figura 73.** Cables de refuerzo en panel de intercepción. Fuente: Geobruigg, 2017

### 3.1.6.5. Panel de Anillos

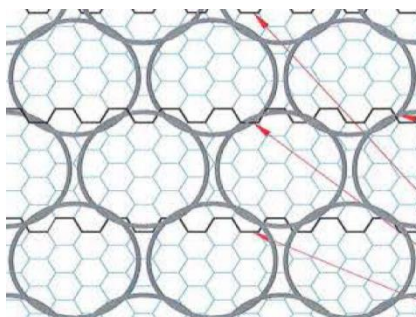
Net de anillos galvanizados de diámetro de 3 mm con una resistencia a la tensión superior a  $1380 \text{ N/mm}^2$



**Figura 74.** Anillos de intercepción. Fuente: Geobrugg, 2017

### 3.1.6.6. Malla Adicional

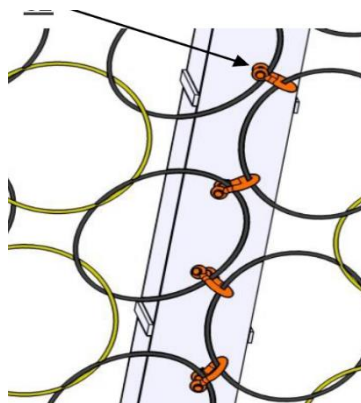
Malla Hexagonal de doble torsión, alambre de 2.2 mm de diámetro, reforzados con cables de acero longitudinales de 7.0 mm, con un esfuerzo a tensión de  $1770 \text{ N/mm}^2$ .



**Figura 75.** Malla Adicional. Fuente: Geobrugg, 2017

### 3.1.6.7. Grilletes

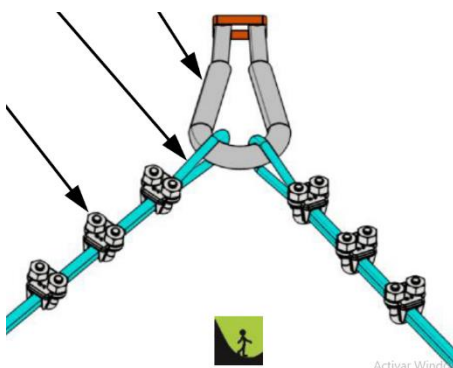
Para cable de acero de 18 mm de diámetro. Sirven para conectar los paneles de anillos, también se usa como refuerzo en diferentes partes de la instalación.



**Figura 76.** Grilletes. Fuente: Geobrugg, 2017

### 3.1.6.8. Sujeta cables (FF-C-450 Type 1 class 1)

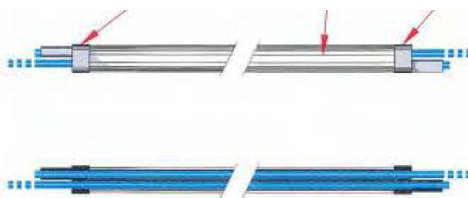
Los cables son provistos de garzas prensadas donde sea posible. Después de tensar, el extremo libre del cable debe ser fijado con sujeta cables.



**Figura 77.** Sujetacables. Fuente: Geobrugg, 2017

### 3.1.6.9. Disipadores de Energía

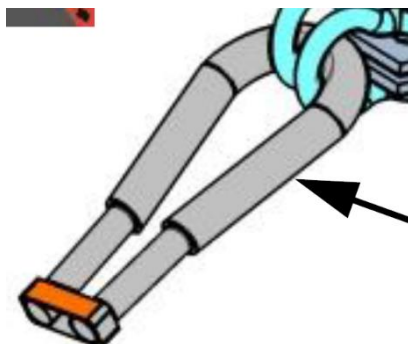
Disipador de energía de aluminio de forma tubular con un diámetro de 30 mm



**Figura 78.** Disipador de Energía. Fuente: Geobrugg, 2017

### 3.1.6.10. Anclajes

Los cables de soporte son anclados al suelo o a la roca por medio de los anclajes de cable espiral Geobrugg, Flexhead tipo IV para suelo.



**Figura 79.** Anclaje de cable espiral. Fuente: Geobrugg, 2017

## 3.2 Análisis y Discusión de Resultados

### 3.2.1 Análisis de resultados de los mayores impactos en la barrera RXE-500-LA

Comprobaremos que la barrera esté en la capacidad de retener la trayectoria de las rocas y conocer su máxima energía de impacto.

**Tabla 26**

*Resumen del análisis de los impactos en la barrera RXE-500-LA*

Ubicación	Perfil	Energía máxima del impacto de un bloque	N.º de rocas	% de probabilidad de caída en un total de 50 rocas	Observaciones
ZONA 1	1	168.955 KJ	4	8%	La barrera no sufre ningún tipo de daño en los impactos
	2	182.909 KJ	1	2%	
	3	169.709 KJ	2	4%	
ZONA 2	4	211.804 KJ	2	4%	La barrera puede sufrir daños leves, sin riesgo de falla.
	5	313.667 KJ	3	6%	
	6	152.549 KJ	3	6%	
ZONA 3	7	206.786 KJ	1	2%	La barrera sufre un impacto de más del 70% de su capacidad, puede haber fallas.
	8	362.352 KJ	2	4%	
	9	363.906 KJ	2	4%	

Fuente: Elaboración Propia, 2019

### 3.2.2. Análisis de la Barrera RXE-500-LA

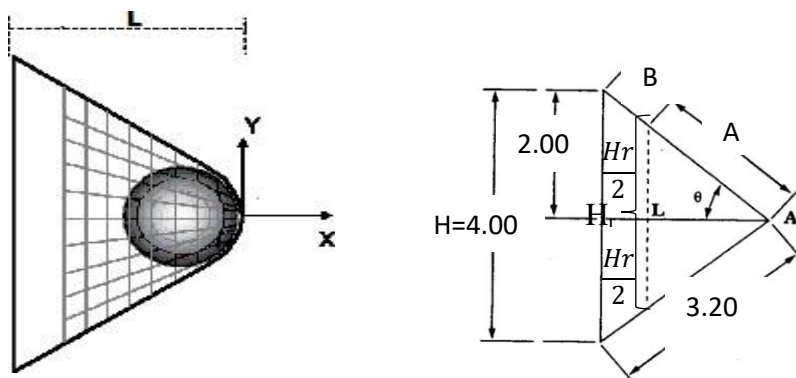
#### 3.2.2.1. Análisis Dinámico

Se llevará a cabo un análisis del comportamiento de los accesorios en la malla dinámica, se analizarán las fuerzas actuantes en el proceso.

Partiendo como dato principal tenemos:

L= Deformación máxima de la barrera= 2.50 m (Tabla 24)

$$\tan \Theta = \frac{2.00}{2.50}; \Theta = 38.66^\circ$$



Para encontrar los valores de B, A y  $H_r$ , se tomarán los porcentajes de Altura residual ( $H_r$ ) de acuerdo al Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG) presentados en el XVII Congreso Internacional de Infraestructura Vial & Expo Vial y Transporte 2018, denominado “Criterios para la Correcta Aplicación de Barreras Dinámicas Certificadas para la Mitigación de Riesgo de Caída de Rocas”.

**Tabla 27**

*Altura Residual de acuerdo al modelo de Barrera*

Modelo de Barrera	Energía Nominal	Altura Residual ( $H_r$ )
RMC 050/A	500 KJ	75%
RB 750	750 KJ	58%
RMC 100/A	1000 KJ	69%
RB 1500	1500 KJ	62%
RMC 200/A	2000 KJ	71%
RMC 300/A	3000 KJ	73%
RMC 500/A	5000 KJ	79%
RMC 850/A	8600 KJ	58%

Fuente: ICG,2018

$$H_r = 75\% H \Rightarrow H_r = 3\text{m}$$

Por relación de Triangulos:  $B = 0.8\text{m}$  ;  $A = 2.4\text{m}$

### Diagrama de fuerzas actuantes en los principales nodos de la pantalla

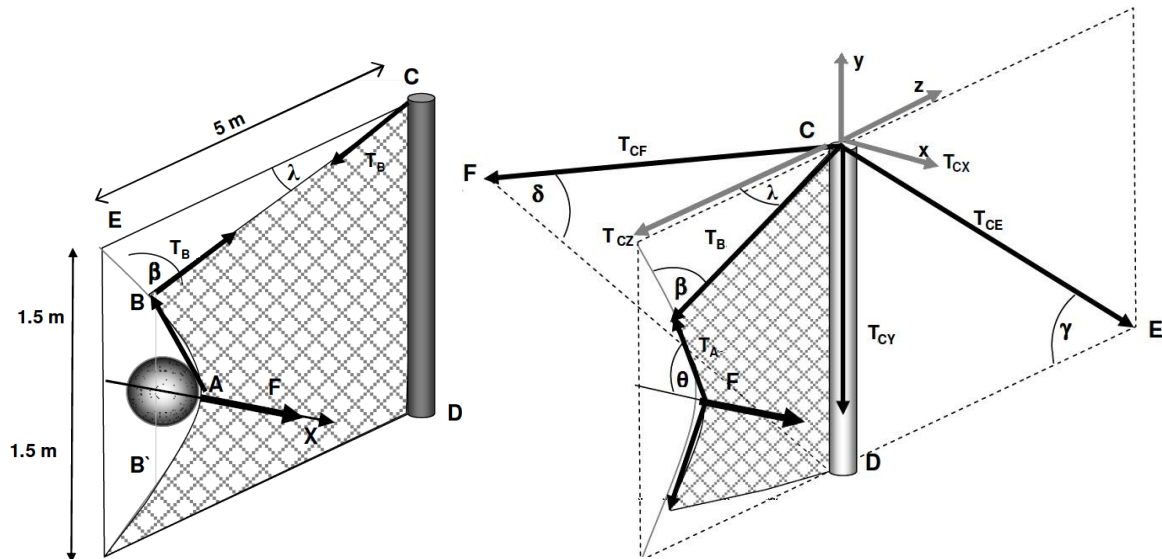
#### Nodo A

$2T_A \cos \theta = F$  ;  $F =$  se considerará a la energía Máxima de impacto 363.9KN (Tabla 26)

$$T_A = \frac{363.9 \text{ KN}}{2 \cos(38.66^\circ)} = 233.01 \text{ KN}$$

### Nodo B

$$2T_B \cos(\beta) = T_A$$



$$2T_B \cos(80.91^\circ) = T_A$$

$$T_B = \frac{212.18 \text{ KN}}{2 \cos(80.91^\circ)}$$

$$T_B = 671.52 \text{ KN}$$

### Nodo C

$$T_{Cx} = T_B \cos 80.91^\circ * \cos 38.66^\circ$$

$$T_{Cx} = 671.52 \cos 80.91^\circ * \cos 38.66^\circ$$

$$T_{Cx} = 82.84 \text{ KN}$$

$$T_{Cy} = T_B \cos 80.91^\circ * \sin 38.66^\circ$$

$$T_{Cy} = 671.52 \cos 80.91^\circ * \sin 38.66^\circ$$

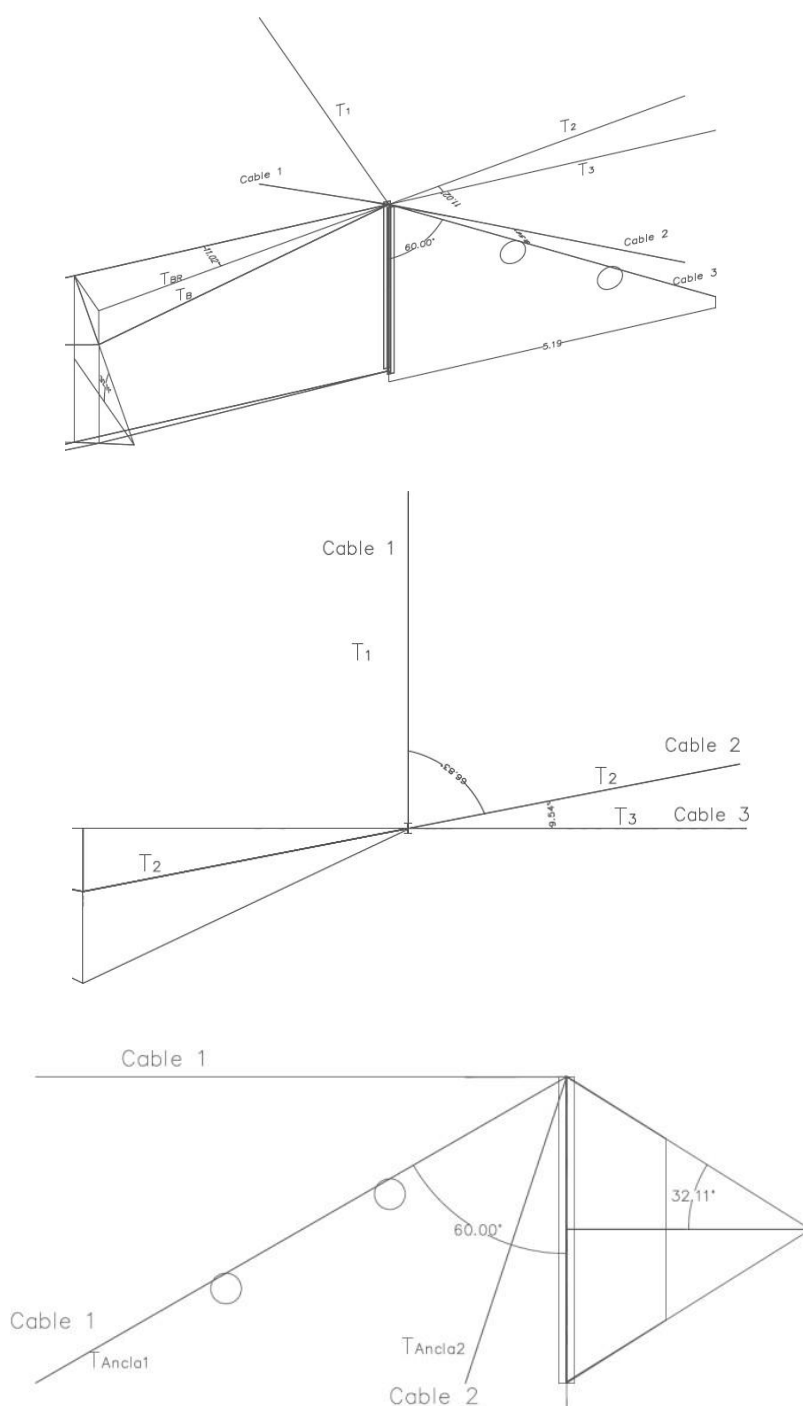
$$T_{Cy} = 66.27 \text{ KN}$$

$$T_{Cz} = T_B \cos 9.09^\circ$$

$$T_{Cz} = 671.52 \cos 9.09^\circ$$

$$T_{Cz} = 663.09 \text{ KN}$$

## Diagramas de fuerza actuantes en los principales nodos de la pantalla



Debido a que existe articulación en la base, no existirá momento flexionante. Con referencia al diagrama se puede realizar los siguientes análisis de fuerzas:

$$T_{BR} = T_B \cos 6.78^\circ = 671.52 \cos 6.78^\circ$$

$$T_{BR} = 666.82 \text{ KN}$$

$$T_{BR} = T_2 + T_2 \cos 79^\circ + T_2 \cos 11^\circ = 2.17 T_2$$

$$T_{BR} = 2.17 T_2$$

$$T_2 = 307.29 \text{ KN}$$

$$T_1 = T_2 \cos 79^\circ = 58.63 \text{ KN}$$

$$T_1 = 58.63 \text{ KN}$$

$$T_3 = T_2 \cos 11^\circ = 301.64 \text{ KN}$$

$$T_3 = 301.64 \text{ KN}$$

Estas son las fuerzas actuantes en los cables, los cuales se encuentran en dirección perpendicular al poste. Por lo que la tensión final en cada ancla es:

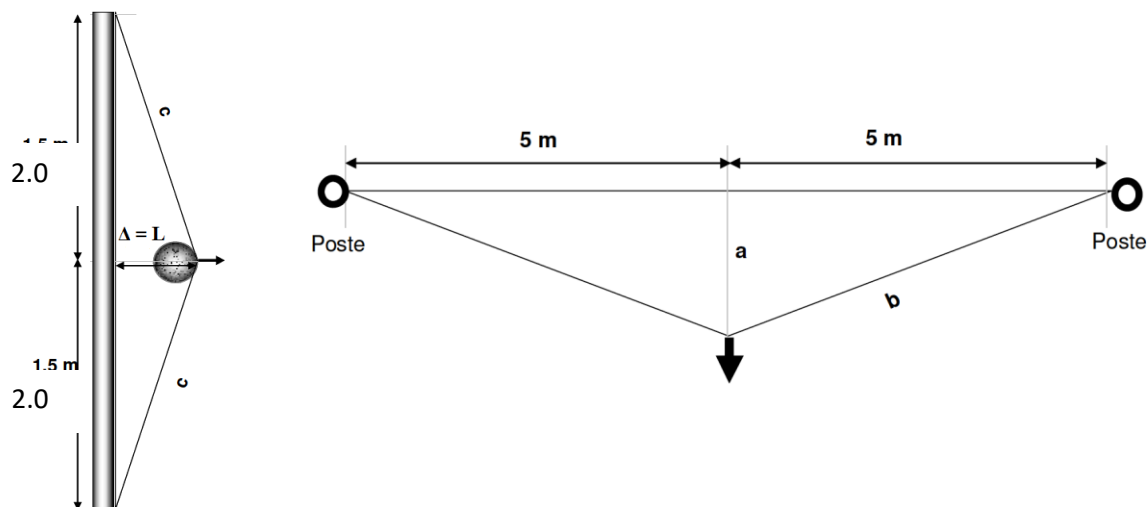
$$T_{\text{Ancla1}} = \frac{58.63 \text{ KN}}{\cos(30^\circ)} = 67.70 \text{ KN}$$

$$T_{\text{Ancla2}} = \frac{307.29 \text{ KN}}{\cos(30^\circ)} = 354.83 \text{ KN}$$

$$T_{\text{Ancla3}} = \frac{301.64 \text{ KN}}{\cos(30^\circ)} = 348.30 \text{ KN}$$

Utilizando el principio de trabajo y energía se evalúa la energía cinética traslacional y rotatoria inicial de la roca. Con la ayuda de un diagrama de cuerpo libre se pueden representar las fuerzas y el sentido en que actúan:

#### Diagrama en elevación y planta de la deformación de la red



Primeramente, se tiene que la roca permanece en reposo, por lo que su energía cinética inicial es nula:

$$E_{i \text{ Roca}} = 0$$



Le energía cinética final puede ser calculada con referencia al centro de masa de la roca, siendo éste un punto arbitrario idealizado debido a la irregularidad de las rocas:

$$E_{f\text{ roca}} = \frac{1}{2}m \cdot v^2 + \frac{1}{2}I_G \cdot \omega^2 \quad (\text{Ecuación 18})$$

**Siendo:**

M: Masa

V: Velocidad de la roca

$I_G$ : Momento de inercia de la roca, respecto al centro de masa de la misma

$\omega$ : Velocidad angular de la roca

**De la investigación obtenemos:**

- $m = 5000 \text{ kg}$  (Tomada del capítulo II)
- Densidad =  $2850 \text{ kg/m}^3$  (Tomada del capítulo II)
- $V_{\text{roca}} = 1.75 \text{ m}^3$  (Tomada del capítulo II)
- $V_{\text{Roca}} = \frac{4}{3}\pi r^3$  (Tomaremos a la roca como si fuera una esfera)
- $R = 0.75 \text{ m}$  (Tomada del capítulo II)

**Determinamos el momento de inercia de la roca**

$$I_G = \frac{2}{5}m \cdot r^2 \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$I_G = 1125 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

**Sabemos que:**

$$\omega = \frac{v}{r}$$

**Lo reemplazamos en la Ecuación 18:**

$$E_{f\text{ roca}} = \frac{1}{2}m \cdot v^2 + \frac{1}{2}I_G \cdot \left(\frac{v}{r}\right)^2$$

**Despejando “V”:**

$$v = \sqrt{\frac{E_{\text{Pantalla}}}{\frac{1}{2}m + \frac{I_G}{2r^2}}}$$

**Sustituyendo los valores:**

$$v = \sqrt{\frac{500 \text{ KJ}}{\frac{1}{2} \cdot 5000 \text{ kg} + \frac{1125 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}{2(0.75)(0.75)}}} = 11.95 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{roca}} = 11.95 \text{ m/s}$$

### 3.2.2.2. Análisis Estructural

#### Postes

Debido a la existencia de articulación en la base del poste, la flexión será nula y solo se toma en cuenta la carga axial.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_D - T_{CY} - T_{BR} * \text{Sen } 30^\circ = 0$$

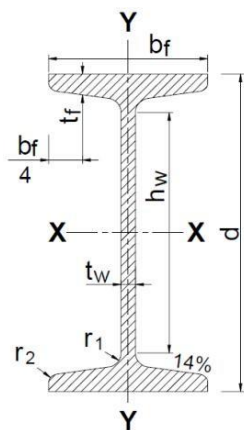
$$R_D = 54.57 + 474.41 * \text{Sen } 30^\circ = 291.77 \text{ KN}$$

**Sabemos que:**

$$\sigma_{\text{máx}} = P_{\text{máx}} / A$$

$$A = \frac{291.77}{250 \text{ MPa}}$$

$$A = 11.67 \text{ cm}^2$$



Perfil HEA 160 (ASTM A-36)

Área 38.80 cm<sup>2</sup>

Ixx 6.57 mm<sup>4</sup>

Peso 30.40 kg/m

σadm 250 MPa (2 530 kg/cm<sup>2</sup>)

#### Placa base de los postes

Para anclaje en el dado de concreto:

$$F_p = 0.35 f_c$$

$$F_p = 0.35 * 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_p = 73.5 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow 7208 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = P_{\text{máx}} / A$$

$$A = \frac{291770 \text{ kN}}{7208 \text{ kPa}} = 405 \text{ cm}^2$$

$$b = \sqrt{405 \text{ cm}^2}$$

b = 20 cm; Sección calculada: 200 x 200 mm

## Cables

Tomando como referencia a la tensión máxima obtenida por el análisis dinámico  $T_{BR} = 474.41$  KN. Los cables propuestos por la empresa: diámetro de 18 mm, resistente a un esfuerzo de tensión de  $1770 \text{ N/mm}^2$ , equivalente en el mercado: acero grado 190 ASTM de diámetro  $\phi = \frac{3}{4}$ ", con una resistencia ultima de  $18,967 \text{ kg/cm}^2$ , que proporciona una carga efectiva de  $584.25$  KN.

## Anclajes

Para conocer la determinación de la resistencia última del anclaje, se tiene la siguiente ecuación:

$$P_u = \sigma_t \pi d L \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde:

$P_u$ : Resistencia ultima a la extracción

$\sigma_t$ : Esfuerzo de resistencia de adherencia

$d$ : Diámetro de la perforación

$L$ : Longitud del ancla

**Tabla 28**

*Resistencia típica en función al tipo de material*

Tipo de suelo	Resistencia de adherencia ( $a_{adm}$ ) MPa
Gravas y arenas gruesas	0.50 -1.00
Arenas finas y medias, arenas limosas	0.30 – 0.50
Limos y arcillas	0.15
Roca Margas	0.60
Roca alterada	0.70
Granitos, basaltos, calizas	0.80 – 5.0
Areniscas, basaltos, calizas	0.7- 2.5

Fuente: Dirección Técnica General de Carretera-España

Para los cálculos tomaremos como valores de adherencia lo siguiente:

**Suelo:** Del estudio de mecánica de suelos: arcillosa – limosa =  $0.30 \text{ MPa}$  ( $300 \text{ Kpa}$ )

$T_{Cy} = 66.27 \text{ KN}$

$T_{Ancla2} = 354.83 \text{ KN}$

$T_{Ancla3} = 348.30 \text{ KN}$

$$L_{\text{cimiento}} = \frac{66.27 \text{ KN}}{300 \text{ kpa} * \pi * 0.076 \text{ m}} = 0.93 \text{ m}$$

$$L_{\text{cimiento}} = 0.93 \text{ m}$$

$$L_2 = \frac{354.83 \text{ KN}}{300 \text{ kpa} * \pi * 0.076 \text{ m}} = 4.95 \text{ m}$$

$$L_2 = 4.95 \text{ m}$$

$$L_3 = \frac{348.30 \text{ KN}}{300 \text{ kpa} * \pi * 0.076 \text{ m}} = 4.86 \text{ m}$$

$$L_3 = 4.86 \text{ m}$$

**Tabla 29**

*Longitud final de los anclajes*

Tipo de Anclaje	Del Análisis Dinámico y Estructural	Del estudio de Mecánica de suelo y Geotecnia	Longitud Total
En el Talud	4.95 m	+1.80 m	6.80 m
En el Talud	4.86 m	+1.80 m	6.70 m
En el Dado de concreto	0.93 m	+1.80 m	2.75 m

Fuente: Elaboración Propia, 2020

### 3.2.3. Verificación de las longitudes de Anclaje

Haremos la comparativa con los valores de la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

**Tabla 30**

*Longitud de anclajes de los pernos*

Tipo de Anclaje	Zona	Longitud Total (m)
Longitud de anclaje en roca	Talud y Cauce	5.00
Longitud de anclaje en suelo coluvial	Talud y Cauce	9.00
Perno vertical en suelo	Dado de Concreto	3.50-5.50
Perno inclinado en suelo	Dado de Concreto	3.50-5.50

Fuente: Autoridad Nacional del Agua

### 3.2.4. Verificación de las pendientes

El manual de instalación de barrera RXE-500-LA. Geobrugg recomienda el uso del manual para pendientes hasta 90°.

**Tabla 31***Verificación de pendientes según manual de instalación*

Ubicación	Perfil	Pendiente	Observaciones
ZONA 1	1	26.49%	Cumple
	2	37.10%	Cumple
	3	44.55%	Cumple
ZONA 2	4	63.95%	Cumple
	5	72.09%	Cumple
	6	73.41%	Cumple
ZONA 3	7	86.63%	Cumple
	8	94.40%	No Cumple
	9	114.41%	No Cumple

Fuente: Elaboración propia, 2020

**3.2.5. Factor de Seguridad****3.2.5.1. Por el método Maccaferri**

Se determina por la ecuación 15:

$$FS = 1.1 * 1.2 * 1.05 * 1.07 * (1.05 * 1.05)^2$$

$$FS = 1.8 > 1.5$$

1.5: Mínimo establecido por Bañon Blazquez &amp; Beviá García, 2000

**3.2.5.2. Por la forma tradicional****Tabla 32***Cálculo del factor de seguridad por el método tradicional*

Ubicación	Perfil	Qm (Energía la barrera RXE- 500-LA)	Qr (Energía máxima de impacto)	$FS = \frac{Qm}{Qr}$	Observaciones
<b>ZONA 1</b>	1	500 KJ	168.955 KJ	2.95	>1.5 cumple
	2		182.909 KJ	2.73	>1.5 cumple
	3		169.709 KJ	2.94	>1.5 cumple
<b>ZONA 2</b>	4		211.804 KJ	2.36	>1.5 cumple
	5		313.667 KJ	1.59	>1.5 cumple
	6		152.549 KJ	3.27	>1.5 cumple
<b>ZONA 3</b>	7		206.786 KJ	2.42	>1.5 cumple
	8		362.352 KJ	1.38	< 1.5 no cumple
	9		363.906 KJ	1.37	< 1.5 no cumple

Fuente: Elaboración propia, 2020

De la verificación de pendientes y del factor de seguridad podemos concluir que la barrera RXE-500-LA funcionará correctamente en la zona 1 y 2, pero para la zona 3 solo se colocará hasta el perfil 7.

### 3.2.6. Parámetros para instalación de la Barrera RXE-500-LA

**Tabla 33**

*Referencia de los parámetros establecidos para la instalación*

Ítem	Referencia de los parámetros establecidos		
	Concepto	De la Investigación	Recomendación
$\alpha$	Angulo entre el poste y el terreno.		Geobruigg recomienda un estándar de 75°
$\gamma$	Angulo entre el poste y el cable de anclaje al talud.		Geobruigg recomienda entre 60°- 85°
<b>Postes</b>	Estructura de soporte.	Nos dio como resultado 11 postes	
<b>Altura</b>	Medida longitudinal.	Usamos el mínimo establecido: 3m	
<b>Cota</b>	Altitud de las barreras.	Los postes varían entre 324-321 msnm	
<b>Coordenadas</b>	Ubicación de las barreras.	Se estableció un aproximado con ayuda de los planos topográficos	
<b>Distancia entre postes</b>	Longitud de medida de poste a poste.		Para una altura de 3.5-4 .5m, Geobruigg recomienda una distancia de 10 m
<b>Distancia mínima entre la barrera y la infraestructura (<math>D_{min}</math>)</b>	Es la distancia entre la barrera y la estructura más cercana, en este caso la cuneta.	Con ayuda de los perfiles topográficos se aproximan las medidas de la barrera a la cuneta	
<b>Verificación de la distancia mínima</b>	$D_{min} > D_b * \gamma_d$ $D_b$ : Deformación máxima de la barrera $\gamma_d$ : 1.5, coeficiente de diseño MEL	De la formula se establece un parámetro de $> 3.75$ m	Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI 11211-4)
N.º. de mallas	La estructura de intercepción del trayecto de las rocas	Nos dio como resultado un total de 10 mallas en la zona estudiada.	
N.º de anclajes	Puntos de anclaje en el talud, así como en los dados de concreto	El resultado nos dio un total de 16 anclajes en el talud, y un total de 11 anclajes en los dados de concreto.	

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 34**

*Resumen de los parámetros para correcta instalación de la barrera RXE-500-LA*

	N.º de postes	Altura	Cota	Coordenadas: Latitud Longitud	Distancia entre postes	Distancia mínima entre la barrera y la infraestructura ( $D_{\min}$ )	$D_{\min} > D_b * \gamma_d$	N.º de Mallas	N.º de Anclajes	$\alpha$	$\gamma$
<b>Zona 1</b>	P-1	4.0 m	321 msnm	6°29'22.56"S 76°21'25.17"O	10 m	11.75 m	> 3.75 m	3	Al talud:	75°	60°
	P-2	4.0 m	322 msnm	6°29'22.89"S 76°21'25.30"O		5.75 m	> 3.75 m		6	75°	60°
	P-3	4.0 m	322 msnm	6°29'23.17"S 76°21'25.45"O		7.22 m	> 3.75 m		Al dado de concreto:	75°	60°
	P-4	4.0 m	322 msnm	6°29'23.46"S 76°21'25.63"O		6.02 m	> 3.75 m		4	75°	60°
<b>Zona 2</b>	P-5	4.0 m	322 msnm	6°29'23.75"S 76°21'25.82"O	10 m	4.20 m	> 3.75 m	5	Al talud:	75°	60°
	P-6	4.0 m	323 msnm	6°29'24.05"S 76°21'26.02"O		4.57 m	> 3.75 m		5	75°	60°
	P-7	4.0 m	324 msnm	6°29'24.33"S 76°21'26.19"O		4.70 m	> 3.75 m		Al dado de concreto:	75°	60°
	P-8	4.0 m	324 msnm	6°29'24.60"S 76°21'26.38"O		5.00 m	> 3.75 m		4	75°	60°
<b>Zona 3</b>	P-9	4.0 m	323 msnm	6°29'24.83"S 76°21'26.63"O	10 m	4.4 m	> 3.75 m	2	Al talud:	75°	60°
	P-10	4.0 m	324 msnm	6°29'25.09"S 76°21'26.85"O		4.85 m	> 3.75 m		Al dado de concreto:	75°	60°
	P-11	4.0 m	324 msnm	6°29'25.32"S 76°21'27.08"O		3.77 m	> 3.75 m		3	75°	60°

Fuente: Elaboración propia, 2020

### 3.2.7. Proceso de Instalación de la Barrera Dinámica

#### 3.2.7.1. Replanteo adaptado al terreno

El trabajo inicia con el replanteo de la ubicación de la barrera dinámica, puede ser modificada dependiendo del terreno, siempre y cuando se respeten las dimensiones estándar de replanteo y las tolerancias especificadas en el manual de instalación.



**Figura 80.** Replanteo de ubicación de la barrera dinámica con wincha y estacas. Fuente: Crispín, J (2017)



**Figura 81.** Marcación de los puntos para los postes con wincha y pintura. Fuente: Crispín, J (2017)

#### 3.2.7.2. Replanteo para los puntos de perforación

Luego se inicia con el replanteo de los puntos de perforación de los anclajes tanto para el talud como para los postes. Los puntos tienen que ser marcados de la mejor manera, utilizando una estaca de acero 3/4", para que los especialistas puedan realizar la perforación.





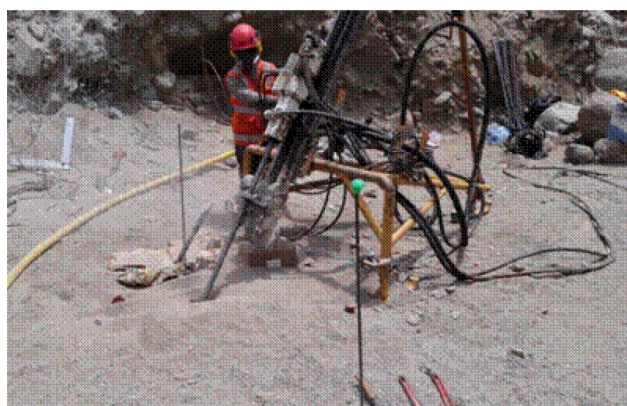
**Figura 82.** Marcado de puntos para la perforación en talud. Fuente: Crispín, J (2017)



**Figura 83.** Marcado de puntos para la perforación de los postes. Fuente: Crispín, J (2017)

### **3.2.7.3. Inicio de las perforaciones**

Se inician las perforaciones en los puntos marcados con las estacas de acero, en primer lugar, se trabaja con las perforaciones de los taludes, luego el avance continúa con las perforaciones en los puntos marcados para los postes.



**Figura 84.** Perforación de los puntos de anclaje para el poste. Fuente: Crispín, J (2017)



**Figura 85.** Perforación de los puntos de anclaje para el talud. Fuente: Crispín, J (2017)

#### **3.2.7.4. Preparación de lechada de cemento y colocación de los pernos**

Finalizado las perforaciones se inicia con la preparación de lechada, y empezar a colocar los pernos con la mezcla preparada. Para la presente investigación se recomienda perno autoperforante para tipo de suelo coluvial.



**Figura 86.** Preparación de la mezcla; suelo / cemento. Fuente: Crispín, J (2017)

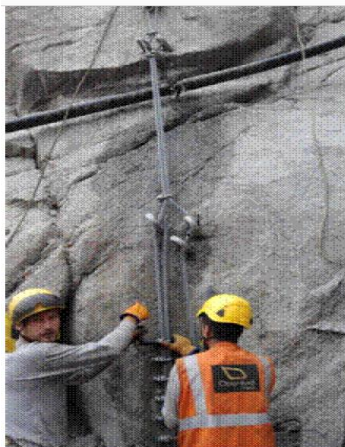


**Figura 87.** Pernos autoperforantes  $\phi=38$  mm. Fuente: Crispín, J (2017)



### 3.2.7.5. Colocación de los accesorios de los pernos y construcción de los cimientos

Dejamos fraguar la lechada y se coloca los accesorios en cada tipo de perno. Los accesorios son conocidos como los Flexhead, que tienen la función de conectar los cables horizontales de la barrera con los pernos instalados.



**Figura 88.** Colocación de pernos y accesorios. Fuente: Crispín, J (2017)



**Figura 89.** Construcción de los cimientos para soporte y protección de los postes. Fuente: Crispín, J (2017)



**Figura 90.** Colocación de la placa base en los cimientos. Fuente: Rocfall (2018)

### 3.2.7.6. Colocación de los accesorios para los cables de anclaje

Previo a la instalación de los postes de coloca los accesorios tales como los disipadores de energía, sujeta cables.



**Figura 91.** Colocación de los disipadores de energía. Fuente: Rocfall (2018)



**Figura 92.** Colocación de los sujeta cables. Fuente: Rocfall (2018)

### 3.2.7.7. Instalación de los postes

Los postes son izados con ayuda de los cables de anclaje, cables horizontales y el personal encargado, se verifica la correcta unión entre el poste y la placa base con la cimentación.



**Figura 93.** Izado de los postes. Fuente: Rocfall (2018)



**Figura 94.** Verificación de la unión entre el poste, placa base y el cimiento. Fuente: Rocfall (2018)

### 3.2.7.8. Instalación de la red de anillos y malla galvanizada

Luego de la instalación de los postes se procede a colocar la red de anillos unidas mediante grilletes a los cables horizontales (superior e inferior) y también se inicia la colocación de las mallas galvanizadas.



**Figura 95.** Colocación de la red de anillos y malla galvanizada. Fuente: Rocfall (2018)



**Figura 96.** Grilletes para la unión de la red de anillos con los cables horizontales. Fuente: Rocfall (2018)



### 3.2.7.9. Fijación de la barrera

Finalmente se procede a cubrir toda el área a proteger entre los postes y se fija adecuadamente para terminar el proceso de instalación.



**Figura 97.** Fijación de la barrera y culminación del proceso de instalación. Fuente: Rocfall (2018)

### 3.2.8. Contrastación de la Hipótesis

Mediante el desarrollo del objetivo principal de la investigación, desde la recolección de datos y el procesamiento de las mismas, se pudo comparar la resistencia de la barrera ante los impactos de rocas en la simulación realizada con el programa Rocfall, los cuales nos brindó los datos necesarios para la determinación de la barrera adecuada, se realizó las verificaciones normativas para asegurar el correcto funcionamiento de las mismas, garantizando así una alternativa viable, y correctamente sustentada, de esta manera, se logra contribuir a la solución del problema planteado en la hipótesis de la presente tesis denominada: “Uso de barrera dinámicas en áreas con amenaza de caída de rocas para mitigación de riesgo en zona vial urbana en la Alameda Shilcayo, en el distrito de Tarapoto, provincia de San Martín, departamento de San Martín”.

## CONCLUSIONES

Se logró conocer la trayectoria de las rocas en un posible caso de desprendimiento en el área de estudio, mediante el uso del software Rocfall v 4.0, los resultados nos mostraron que ante un desastre ocurrido, las rocas no se comportarían como proyectiles, es decir no tendrían una altura de rebote o llegada considerables, corroborando la hipótesis en la visita de campo de una falla netamente por rodamiento, por lo que en la realización del presente trabajo se lo consideró como despreciable, tomando en cuenta solamente los valores de Energía Cinética y Velocidad Traslacional, que se usaron para los análisis posteriores.

El análisis e interpretación de los resultados se realizaron mediante tablas y cálculos de iteraciones en el programa Excel, con ellos pudimos sintetizar los datos obtenidos de las corridas del programa, para obtener los datos exactos requeridos al momento del dimensionamiento de la barrera, el planteamiento de la solución estuvo regida a los requerimientos de la norma ETAG 027.

La aplicación del software Rocfall v 4.0 nos permitió conocer las variantes de energía cinética, velocidad traslacional y trayectoria de 50 rocas usadas en la simulación, para definir los parámetros establecidos en el programa, se incluyó los datos recopilados en la visita de campo en el área estudiada (medición de rocas, levantamiento topográfico, estudio de mecánica de suelos y geotecnia y posibles rutas de deslizamiento para la ubicación de los perfiles), así como los datos obtenidos de las referencias bibliográficas (coeficiente de restitución normal y tangencial), el análisis posterior ya se estableció por un criterio dinámico en caída de bloques.

Se dimensionó las características de la barrera requerida para la solución de la problemática obteniendo como resultado una barrera de 500 KJ de capacidad de absorción de energía contra impacto de rocas, para la contención de bloques de 1.75 m<sup>3</sup> a una velocidad de hasta 11 m/s con un peso aproximado de 5000 kg, se optó como propuesta al proveedor Geobrugg con su producto RXE-500-LA, que mediante el análisis y verificaciones normativas resultó una solución segura para el problema planteado.

La barrera tendrá una longitud de 100 m, cubriendo un 71.43% del tramo total, las cotas de ubicación de los postes varían entre 324-321 msnm dependiendo de la zona, se dispondrá de 11 postes, 10 mallas, 27 anclajes, 11 dados de concreto, el proceso de instalación se describe en el manual del producto, cualquier reajuste deberá ser analizado y sustentado.

## **RECOMENDACIONES**

El poco conocimiento sobre este tipo de soluciones a problemáticas frecuentes en nuestra región, condiciona el excesivo uso de los métodos tradicionales, la propuesta establecida en este proyecto de tesis nos brinda una solución práctica, económica, de fácil mantenimiento y sobre todo satisface el requerimiento de la problemática de una manera segura, mediante normas certificadas en organismos internacionales, por lo que se recomienda una mayor incursión en este campo para conocer las diversas propuestas de solución a los problemas que padece nuestra región.

Teniendo en cuenta que no se puede predecir un desprendimiento de rocas y mucho menos saber el lugar exacto de caída, los resultados de este proyecto son referenciales, por lo que para obtener resultados más exactos y concretos se recomienda en cuanto a los estudios de mecánicas de suelos aplicar la técnica de investigación y ensayo de campo llamado: ensayo de refracción sísmica acorde a la norma ASTM D5777, para la determinación de condiciones (meteorización, fracturación) y competencia de la roca; también se puede aplicar el ensayo de tomografía eléctrica acorde a la norma ASTM D6431, para determinar la profundidad en la que se encuentra la roca sana a partir de valores de resistividad.

Es recomendable realizar un análisis comparativo entre los métodos estudiados en este proyecto, con la finalidad de determinar una medida de posible solución de menor costo y que tenga un mejor impacto en cuanto a caída de rocas. Personalmente recomendaría un análisis comparativo con el sistema de Mallas Ancladas al Talud, que según requerimientos se adaptaría al tipo de solución buscada en este proyecto.

Las visitas de campo son una parte clave en la determinación de riesgos en caída de rocas, por lo que se recomienda siempre hacer una inspección en el área estudiada.

Para este proyecto se contó con la ayuda del software Rocfall v 4.0 que nos facilitó el proceso de dimensionamiento, actualmente existen otros programas que pueden ser utilizados en este campo de estudio, por lo que se recomienda investigar más acerca para determinar posibles análisis comparativos que ayuden a tener resultados más óptimos.

Es importante estar actualizados con las normas ya que el análisis depende de su conocimiento, y está condicionado a los diversos ajustes en los métodos de diseño producto de los nuevos estudios en el campo de la materia.



## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Abellán Fernandez, A. (2003).** Utilización y Validación de un Modelo de Simulación 3D para el cálculo de la peligrosidad residual por caída de rocas sobre el tren cremallera de Vall de Núria. Barcelona: Universitat d'Alacant.
- Bermúdez, O. (2006).** Sistema de Protección contra Caída de Rocas. San José. Maccafferri.
- Dr. Spang, R. (2011).** From the timber fence to the high-energy net. Developments in rockfall protection from the origins to the present. Bad Ragaz, Suiza: Geobrug.
- European Organisation for Technical Approvals. (2008).** Guideline for European technical approval of fallin rock protection kits. Brussels: EOTA.
- Geobrug. (4 de setiembre de 2014).** LinkedIn Corporation. Obtenido de Barreras Dinámicas contra caída de rocas. Sistemas dinámicos con aprobación oficial.
- Giacchetti, G. (2008).** Algunas observaciones al diseño de protecciones contra caída de piedras. Maccafferri.
- Gonzáles de Vallajeo, L.I, Ferrer, M, Ortuño, L. & Oteo, C. (2002).** Ingeniería Geológica
- Lisle, R. J. & Leyshon, P.R. (2004).** Stereographic Projection Techniques for Geologist and Civil Engineers.
- Matherson, G. (1983).** Rock Stability assessment in preliminary site investigations-graphical methods. Department of environment, Department of Trnasport TRL Report LR 1039. TRL, Crowthorne, Berks.
- Oggeri, C. & Peila, D. (2000).** Protections of transportation systems against Rockfalls. 8th International Symposium on Landslides Cardiff.
- Suárez, J. (2000).** Control de caídos y Deslizamiento en Roca. DF, México.
- Wu, S. (1984).** Rockfall evaluation by computer simulation: Transportation Research Record. Washington DC.

**Linkografía.**

<https://www.eota.eu/pages/etassessments/default.aspx>

[https://www.empa.ch/documents/20659/66481/Dienstleistungen\\_Bewertungsstelle\\_ETAG-027.pdf/f4d9d2c0-c2ce-4cc4-b307-3d751cdd6f18](https://www.empa.ch/documents/20659/66481/Dienstleistungen_Bewertungsstelle_ETAG-027.pdf/f4d9d2c0-c2ce-4cc4-b307-3d751cdd6f18)

<https://www.geobrugg.com/es/La-barrera-dinamica-RXE-500-esta-disponible-en-nuevas-alturas-con-certificacion-ETAG-027-33181.html?markierung=500%7CKJ>

[https://www.rocscience.com/help/rocfall/pdf\\_files/Verification/UNI11211\\_Design\\_Page.pdf](https://www.rocscience.com/help/rocfall/pdf_files/Verification/UNI11211_Design_Page.pdf)

## **ANEXOS**

**Anexo A:** Coeficientes de restitución en función del material del talud.

### Tabla A1

*Coeficientes de restitución en función del material del talud. Valores máximos, mínimos y desviación estándar.*

[illegible]

		0.487				0.910		Talud de Roca	results for coefficients or Restitution”
		0.500				0.950		Roca masiva	
		0.300				0.700		Derbis formados por partículas uniformemente distribuidas	
		0.250				0.550		Suelo cubierto de vegetación	
		0.530				0.990		Roca masiva limpia y dura	
		0.400				0.900		Calle de asfalto	Hoek, Evert. “Unpublished notes” NSERC Industrial Research Professor of Rock Engineering Department of Civil Engineering, University of Toronto, St George Street, Toronto, Canada
		0.320				0.800		Talud cubierto de vegetación	
		0.300				0.800		Suelo suave con poca vegetación	
0.37 0	0.420							Superficies duras y lisas	
0.30 0	0.330							Talud de suelo firme	Pfeiffer, T.J, and Higgens, J.D, “Rockfall Hazard Analysis Using the Colorado Rockfall Simulation”. Transportation Research Record 1288, TRB, National Research Council, Washington, D.C, 1990, pp117-126
0.28 0	0.300							Suelo suave	
				0.87 0	0.92 0			Superficies duras y lisas	
				0.83 0	0.87 0			Roca masiva sin vegetación	
				0.82 0	0.85 0			Talud con poca vegetación	Feedback from user of Rocfall versión 3
		0.530	0.040			0.990	0.040	Roca masiva limpia y dura	
		0.350	0.040			0.850	0.040	Afloramiento rocoso	
		0.320	0.040			0.820	0.040	Talud con vegetación	
		0.400	0.040			0.900	0.040	Asfalto	
		0.530	0.040			0.990	0.040	Roca masiva, limpia y dura	
		0.350	0.040			0.850	0.040	Afloramiento de roca masiva	Feedback from user of Rocfall versión 3
		0.480	0.190			0.530	0.170	Concreto	Feedback from user of Rocfall versión 3
		0.470	0.300			0.550	0.230	Roca meteorizada	
		0.480	0.000			0.530	0.000	Concreto	
		0.470	0.000			0.550	0.000	Roca meteorizada	
		0.850	0.000			0.530	0.000	Concreto	
		1.000	0.000			0.550	0.000	Roca meteorizada	
		0.530	0.040			0.990	0.040	Roca Masiva	Feedback from user of Rocfall versión 3
		0.400	0.040			0.900	0.040	Asfalto	
		0.350	0.040			0.850	0.040	Camino de Grava	



Fuente: Tomado de Rocscience Coefficient of Restitution Table, 2015

## Anexo B: Resultados del Estudio de Mecánica de Suelos.

### Calicata 1.

 <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA</b>  <b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>  <small>Teléfono 522544 - Fax 521402 - Anexo 119</small>  <small>Tarapoto - Perú</small> </div> 									
REGISTRO DE EXCAVACION									
Ejecuta :	BACH. ALEX J. RAMÍREZ TECCO						Elabora :	TESISTA	
TESIS :	USO DE BARRERAS DINÁMICAS EN ÁREAS CON AMENAZA DE CAÍDA DE ROCAS PARA MITIGACIÓN DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO, EN EL DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.						Coord :	N: 0349952 E: 9282474	
Ubicación:	DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.						Fecha :	18/12/2019	
Calicata N°	C - 1	Nivel freático: No presenta	Prof. Exc.	1.80	(m)	Cota As.	350.00	(msnm)	
Cota As. (m)	Estrato	Descripción del Estrato de suelo	CLASIFICACION			ESPESOR (m)	HUMEDAD (%)	FOTO	
			AGREGADO	SUCS	SÍMBOLO				
350.00	I	Material de relleno contaminado				0.00			
349.40	II	Arena arcillosa, Con Grava y Arena: 3.10 - 47.01%, de Media Plasticidad LL = 32.60%, Color: Amarillo rojizo.	A-6(4)	SC		0.40	8.56		
349.00	III	Arena Limosa, No Plástica, Compacidad: Floja, Color: Marrón claro	A-2-4(0)	SM		0.30	2.35		
348.70	IV	Formación de roca sedimentada				0.50			
348.20									
<b>OBSERVACIONES:</b> Del registro de excavación que se muestra se ha extraído las muestras MAB y MIB para los ensayos correspondientes, los mismos que han sido extraídos, colectados, transportados y preparados de acuerdo a las normas vigentes en nuestro país y homologadas con normas A.S.T.M. (registro sin escala)									

## Calicata 1. M – II

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA</b> <small>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS</small>			
<b>Tesis :</b> <u>USO DE BARRERAS DINÁMICAS EN ÁREAS CON AMENAZA DE CAÍDA DE ROCAS PARA MITIGACIÓN DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA</u> <u>EN LA ALAMEDA SHILCAYO, EN EL DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.</u>				
<b>Localización de la Tesis:</b> <u>DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.</u>				
<b>Descripción del Suelo:</b> <u>ARENA ARCILLOSA</u>		<b>Profundidad de la Muestra:</b> <u>0.60 -1.00 (m)</u>		
<b>Identificación de la Muestra :</b> <u>C - 1</u>	<b>Operador :</b> <u>BACH. ALEX J. RAMÍREZ TECCO</u>	<b>Calicata:</b> <u>C-1 Mil</u> <b>Fecha:</b> <u>18/12/2019</u>		
<b>Tipo de Muestra :</b> Alterada <input checked="" type="checkbox"/> No alterada <input type="checkbox"/> Remoldeada <input type="checkbox"/>		<b>Coordenadas Punto Muestreo:</b> <u>N: 0349952 E: 9262474</u>		
<b>Extracción de Muestra :</b> Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Técnico UNSM <input type="checkbox"/>				
<b>Determinación del contenido de humedad de un suelo N.T.P. 339.127</b> <span style="float: right;"><b>ASTM 2216</b></span>				
RECIPIENTE N°	15	11	17	19
Peso del recipiente grs.	14.25	16.55	18.36	21.55
Peso del suelo húmedo + recipiente grs.	114.30	116.35	118.21	119.32
Peso del suelo seco + recipiente grs.	106.39	108.45	110.33	111.67
Peso del agua grs.	7.91	7.90	7.88	7.65
Peso del suelo seco grs.	92.14	91.90	91.97	90.12
Contenido de humedad %	8.55	8.60	8.57	8.49
Promedio de contenido de humedad %	8.56			
<b>Observaciones :</b> <hr/> <hr/>				
<b>Tipo de Muestra :</b> Alterada <input type="checkbox"/> No alterada <input type="checkbox"/> Remoldeada <input type="checkbox"/>				
<b>Extracción de Muestra :</b> Cliente <input type="checkbox"/> Técnico UNSM <input type="checkbox"/>				
<b>Determinación del peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo y GS (N.T.P. 339.131) - ASTM D-856</b>				
Picnómetro N°				
VOL. DEL FRASCO A 20° C.				
Método de remoción del aire				
Peso del picnómetro + agua + suelo				
Temperatura °C				
Peso del picnómetro + agua grs.				
Plato Evaporado N°	<b>N.R.</b>			
Peso del Plato evaporado + suelo seco grs.				
Peso del suelo seco grs.				
Volumen de sólidos cm <sup>3</sup>				
Peso esp. rel. de las part. sólidas del suelo gr/cm <sup>3</sup>				
Densidad del agua a la T° del ensayo gr/cm <sup>3</sup>				
Factor de Corrección				
Gravedad Específica sin corrección				
Gravedad Específica aparente a 20°C				
PROMEDIO Gs				
<b>Tipo de Muestra :</b> Alterada <input type="checkbox"/> No alterada <input type="checkbox"/> Remoldeada <input type="checkbox"/>				
<b>Extracción de Muestra :</b> Cliente <input type="checkbox"/> Técnico UNSM <input type="checkbox"/>				
<b>Determinación del Peso Volumétrico de suelo cohesivo (N.T.P. 339.139)</b> <span style="float: right;"><b>ASTM D-2937</b></span>				
ENSAYO	1	2	3	4
Peso del molde grs.				
Peso del suelo + molde grs.				
Peso del suelo húmedo grs.				
Volumen del molde cm <sup>3</sup>				
Peso volumétrico grs/cm <sup>3</sup>				
Promedio del peso volumétrico cohesivo grs/cm <sup>3</sup>				



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



## ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - N.T.P. 400.012 - ASTM D - 423

### A.- DATOS GENERALES

Tesis : USO DE BARRERAS DINÁMICAS EN ÁREAS CON AMENAZA DE CAÍDA DE ROCAS PARA MITIGACIÓN DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA

EN LA ALAMEDA SHILCAYO, EN EL DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.

Localización de la Tesis: DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.

Descripción del Suelo: ARENA ARCILLOSA Profundidad de la Muestra: 0.60 -1.00 (m)

Hecho Por : BACH. ALEX J. RAMÍREZ TECCO Calicata: C-1 Mil

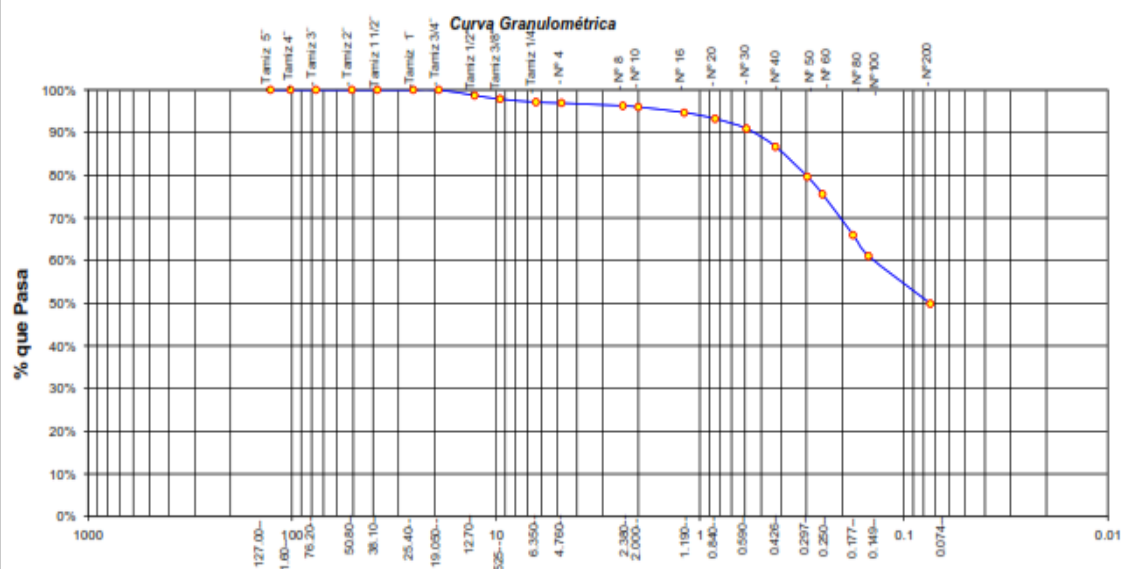
Tipo de Muestra : Alterada ☒ No alterada ☐ Remoldeada ☐

Extracción de Muestra : Cliente ☒ Técnico UNSM ☐ Coordenadas UTM : N: 0349952 E: 9282474



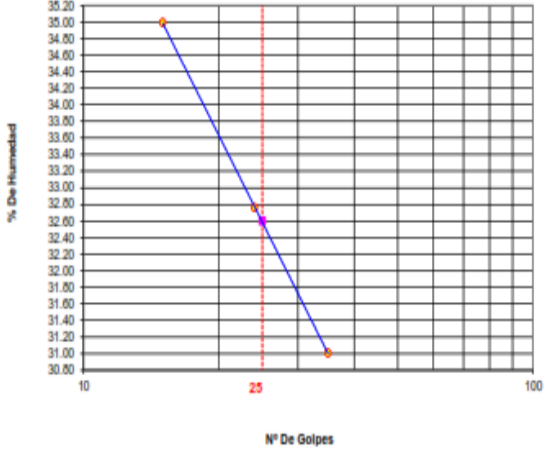
### B.- DATOS TECNICOS

#### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM D - 422 - N.T.P. 400.012



Tamices		Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	DATOS TECNICOS DEL ENSAYO Y RESULTADOS
Ø	(mm)					
Tamiz 5"	127.00					Numero del recipiente : 120
Tamiz 4"	101.60					Peso del recipiente : 113
Tamiz 3"	76.20					Peso del recipiente + suelo seco : 370
Tamiz 2"	50.80					Peso del suelo seco antes del lavado : 257
Tamiz 1 1/2"	38.10					<b>Resultados Obtenidos:</b>
Tamiz 1"	25.40					Contenido de humedad natural = 8.56
Tamiz 3/4"	19.050				100.00%	Limite Liquido = 32.60
Tamiz 1/2"	12.700	3.36	1.31%	1.31%	98.69%	Limite Plástico = 18.92
Tamiz 3/8"	9.525	2.17	0.84%	2.15%	97.85%	Indice Plástico = 13.68
Tamiz 1/4"	6.350	1.89	0.74%	2.89%	97.11%	Grava = 3.10%
Nº 4	4.760	0.54	0.21%	3.10%	96.90%	Arena = 47.01%
Nº 8	2.380	1.65	0.64%	3.74%	96.26%	Limos y arcillas = 49.89%
Nº 10	2.000	0.71	0.28%	4.02%	95.98%	<b>Porcentajes que pasan :</b>
Nº 16	1.190	3.35	1.30%	5.32%	94.68%	% Pasa el Tamiz Nº 4 = 96.90%
Nº 20	0.840	3.73	1.45%	6.77%	93.23%	% Pasa el Tamiz Nº 10 = 95.98%
Nº 30	0.590	6.00	2.33%	9.11%	90.89%	% Pasa el Tamiz Nº 40 = 86.71%
Nº 40	0.426	10.76	4.19%	13.29%	86.71%	% Pasa el Tamiz Nº 200 = 49.89%
Nº 50	0.297	18.13	7.05%	20.35%	79.65%	D <sub>60</sub> : =
Nº 60	0.250	10.62	4.13%	24.48%	75.52%	D <sub>30</sub> : =
Nº 80	0.177	24.55	9.55%	34.03%	65.97%	D <sub>10</sub> : =
Nº 100	0.149	12.51	4.87%	38.90%	61.10%	Cc (Coeficiente de curvatura) :
Nº 200	0.074	28.80	11.21%	50.11%	49.89%	Cu (Coeficiente de Uniformidad) :
Fondo	0.01	128.23	49.89%	100.00%	0.00%	Clasificación S.U.C.S. : SC
TOTAL		257.00				Clasificación AASHTO : A-6(4)





	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA</b> LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
<b>Tesis :</b> <u>USO DE BARRERAS DINÁMICAS EN ÁREAS CON AMENAZA DE CAÍDA DE ROCAS PARA MITIGACIÓN DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA</u> <u>EN LA ALAMEDA SHILCAYO, EN EL DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.</u>			
<b>Localización de la Tesis:</b> <u>DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.</u>			
<b>Descripción del Suelo:</b> <u>ARENA ARCILLOSA</u>		<b>Profundidad de la Muestra:</b> <u>0.60 -1.00 (m)</u>	
<b>Identificación de la Muestra :</b> <u>C - 1</u>	<b>Operador :</b> <u>BACH. ALEX J. RAMÍREZ TECCO</u>	<b>Calicata:</b> <u>C-1 MII</u> <b>Fecha:</b> <u>18/12/2019</u>	
<b>Tipo de Muestra :</b> Alterada <input checked="" type="checkbox"/> No alterada <input type="checkbox"/> Remoldeada <input type="checkbox"/>			
<b>Extracción de Muestra :</b> Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Técnico UNSM <input type="checkbox"/>			
<b>Coordenadas Punto Muestreo:</b> N: 0349952 E: 9282474			
<b>METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO, E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS</b>			
<b>Determinación del Limite Liquido (N.T.P. 339.129)</b>		<b>ASTM D-4318</b>	
Recipiente N°	48	56	61
Peso del recipiente grs.	39.25	39.08	40.37
Peso del suelo húmedo + recipiente grs.	69.38	69.92	71.64
Peso del suelo seco + recipiente grs.	61.57	62.31	64.24
Peso del agua grs.	7.81	7.61	7.40
Peso del suelo seco grs.	22.32	23.23	23.87
Contenido de Humedad %	34.99	32.76	31.01
Numero de Golpes	15	24	35
<b>DIAGRAMA DE FLUIDEZ</b>			
			
<b>Limite Liquido (%)</b>		32.60	
<b>Limite Plástico (%)</b>		18.92	
<b>Indice de Plasticidad Ip (%)</b>		13.68	
<b>Determinación del Limite Plástico (N.T.P. 339.131)</b>		<b>ASTM D-4318</b>	
Recipiente N°	66	44	58
Peso del recipiente grs.	40.61	28.44	27.58
Peso del suelo húmedo + recipiente grs.	71.49	59.07	57.63
Peso del suelo seco + recipiente grs.	66.58	54.19	52.85
Peso del agua grs.	4.91	4.88	4.78
Peso del suelo seco grs.	25.97	25.75	25.27
Contenido de humedad	18.91	18.95	18.92
Promedio del contenido de humedad LP	18.92		

## Calicata 1. M – III

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN</b> FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA <small>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS</small>			
<b>Tesis :</b> <u>USO DE BARRERAS DINÁMICAS EN ÁREAS CON AMENAZA DE CAÍDA DE ROCAS PARA MITIGACIÓN DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA</u> <u>EN LA ALAMEDA SHILCAYO, EN EL DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.</u>			
<b>Localización de la Tesis:</b> <u>DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.</u>			
<b>Descripción del Suelo:</b> <u>ARENA LIMOSA</u>		<b>Profundidad de la Muestra:</b> <u>1.00 - 1.30 (m)</u>	
<b>Identificación de la Muestra :</b> <u>C - 1</u>		<b>Operador :</b> <u>SACH ALEX J RAMÍREZ TECCO</u>	
		<b>Calicata:</b> <u>C-1 Mill</u>	
		<b>Fecha:</b> <u>18/12/2019</u>	
<b>Tipo de Muestra :</b> Alterada <input checked="" type="checkbox"/> No alterada <input type="checkbox"/> Remoldeada <input type="checkbox"/>		<b>Coordenadas Punto Muestreo:</b> <u>N: 0349992 E: 9282474</u>	
<b>Extracción de Muestra :</b> Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Técnico UNSM <input type="checkbox"/>			
<b>Determinación del contenido de humedad de un suelo N.T.P. 339.127</b> <span style="float: right;">ASTM 2216</span>			
RECIPIENTE N°	78	57	11
Peso del recipiente grs.	114.18	89.22	85.85
Peso del suelo húmedo + recipiente grs.	412.96	355.56	354.35
Peso del suelo seco + recipiente grs.	405.96	351.62	377.25
Peso del agua grs.	6.98	6.74	7.13
Peso del suelo seco grs.	291.80	292.60	291.40
Contenido de humedad %	2.39	2.30	2.45
Promedio de contenido de humedad %	2.38		
<b>Observaciones :</b> _____ _____ _____			
<b>Tipo de Muestra :</b> Alterada <input type="checkbox"/> No alterada <input type="checkbox"/> Remoldeada <input type="checkbox"/>			
<b>Extracción de Muestra :</b> Cliente <input type="checkbox"/> Técnico UNSM <input type="checkbox"/>			
<b>Determinación del peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo y GS (N.T.P. 339.131) - ASTM D-856</b>			
Picnómetro N°			
VOL. DEL FRASCO A 20° C.			
Método de remoción del aire			
Peso del picnómetro + agua + suelo			
Temperatura °C			
Peso del picnómetro + agua grs.			
Plato Evaporado N°			
Peso del Plato evaporado + suelo seco grs.			
Peso del suelo seco grs.			
Volumen de sólidos cm <sup>3</sup>			
Peso esp. rel. de las part. sólidas del suelo gr/cm <sup>3</sup>			
Densidad del agua a la T° del ensayo gr/cm <sup>3</sup>			
Factor de Corrección			
Gravedad Específica sin corrección			
Gravedad Específica aparente a 20°C			
PROMEDIO Gs			
N.R.			
<b>Tipo de Muestra :</b> Alterada <input type="checkbox"/> No alterada <input type="checkbox"/> Remoldeada <input type="checkbox"/>			
<b>Extracción de Muestra :</b> Cliente <input type="checkbox"/> Técnico UNSM <input type="checkbox"/>			
<b>Determinación del Peso Volumétrico de suelo cohesivo (N.T.P. 339.139)</b> <span style="float: right;">ASTM D-2937</span>			
ENSAYO	1	2	3
Peso del molde grs.			
Peso del suelo + molde grs.			
Peso del suelo húmedo grs.			
Volumen del molde cm <sup>3</sup>			
Peso volumétrico grs/cm <sup>3</sup>			
Promedio del peso volumétrico cohesivo grs/cm <sup>3</sup>			
N.R.			



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



## ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - N.T.P. 400.012 - ASTM D - 423

### A.- DATOS GENERALES

Tesis : USO DE BARRERAS DINÁMICAS EN ÁREAS CON AMENAZA DE CAÍDA DE ROCAS PARA MITIGACIÓN DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA

EN LA ALAMEDA SHILCAYO, EN EL DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.

Localización de la Tesis: DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.

Descripción del Suelo: ARENA LIMOSA

Profundidad de la Muestra: 1.00 - 1.30 (m)

Hecho Por : BACH. ALEX J. RAMÍREZ TECCO

Calicata: C-1 MIII

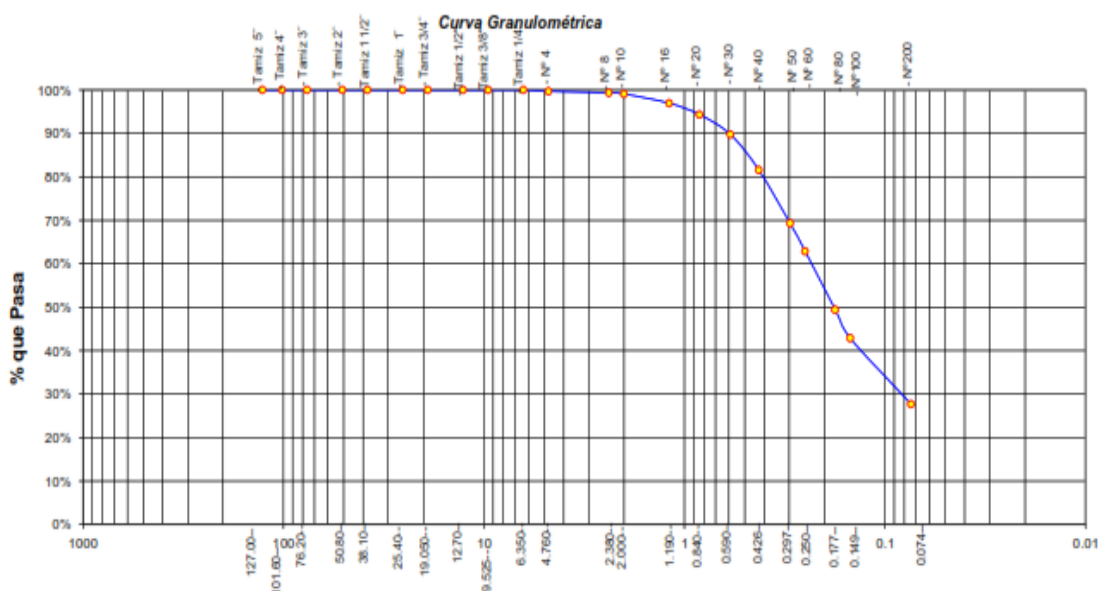
Tipo de Muestra : Alterada ☒ No alterada ☐ Remoldeada ☐

Extracción de Muestra : Cliente ☒ Técnico UNSM ☐ Coordenadas UTM : N: 0349952 E: 9282474

### B.- DATOS TECNICOS

#### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM D - 422 - N.T.P. 400.012

Tamices		Peso	% Retenido	% Retenido	% Que	DATOS TECNICOS DEL ENSAYO Y RESULTADOS
Ø	(mm)	Retenido	Parcial	Acumulado	Pasa	
Tamiz 5"	127.00					Numero del recipiente : 112
Tamiz 4"	101.60					Peso del recipiente : 113
Tamiz 3"	76.20					Peso del recipiente + suelo seco : 365
Tamiz 2"	50.80					Peso del suelo seco antes del lavado : 252
Tamiz 1 1/2"	38.10					<b>Resultados Obtenidos:</b>
Tamiz 1"	25.40					
Tamiz 3/4"	19.050					
Tamiz 1/2"	12.700					
Tamiz 3/8"	9.525					Contenido de humedad natural = 2.38
Tamiz 1/4"	6.350				100.00%	Limite Liquido = N.P.
Nº 4	4.760	0.74	0.29%	0.29%	99.71%	Limite Plástico = N.T.
Nº 8	2.380	0.98	0.39%	0.68%	99.32%	Indice Plástico = N.P.
Nº 10	2.000	0.60	0.24%	0.92%	99.08%	Grava = 0.29%
Nº 16	1.190	5.38	2.13%	3.06%	96.94%	Arena = 72.02%
Nº 20	0.840	6.66	2.64%	5.70%	94.30%	Limos y arcillas = 27.68%
Nº 30	0.590	11.43	4.54%	10.23%	89.77%	<b>Porcentajes que pasan :</b>
Nº 40	0.426	20.60	8.17%	18.41%	81.59%	
Nº 50	0.297	31.01	12.31%	30.71%	69.29%	
Nº 60	0.250	16.15	6.41%	37.12%	62.88%	
Nº 80	0.177	33.86	13.44%	50.56%	49.44%	% Pasa el Tamiz Nº 4 : 99.71%
Nº 100	0.149	16.53	6.56%	57.12%	42.88%	% Pasa el Tamiz Nº 10 : 99.08%
Nº 200	0.074	38.30	15.20%	72.32%	27.68%	% Pasa el Tamiz Nº 40 : 81.59%
Fondo	0.01	69.76	27.68%	100.00%	0.00%	% Pasa el Tamiz Nº 200 : 27.68%
TOTAL		252.00				D <sub>60</sub> : =
						D <sub>30</sub> : =
						D <sub>10</sub> : =
						Cc (Coeficiente de curvatura) :
						Cu (Coeficiente de Uniformidad) :
						Clasificación S.U.C.S. : <b>SM</b>
						Clasificación AASHTO : <b>A-2-4(0)</b>





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

## FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



**Tesis :** USO DE BARRERAS DINÁMICAS EN ÁREAS CON AMENAZA DE CAÍDA DE ROCAS PARA MITIGACIÓN DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA  
EN LA ALAMEDA SHILCAYO, EN EL DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.

**Localización de la Tesis:** DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.

**Descripción del Suelo:** ARENA LIMOSA Profundidad de la Muestra: 1.00 - 1.30 (m)

**Identificación de la Muestra :** C - 1 Operador : BACH. ALEX J. RAMÍREZ Calicata: C-1 Mill Fecha: 18/12/2019

**Tipo de Muestra :** Alterada ☒ No alterada ☐ Remoldeada ☐ Coordenadas Punto Muestreo: N: 0349952 E: 9282474

**Extracción de Muestra :** Cliente ☒ Técnico UNSM ☐

### METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO, E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

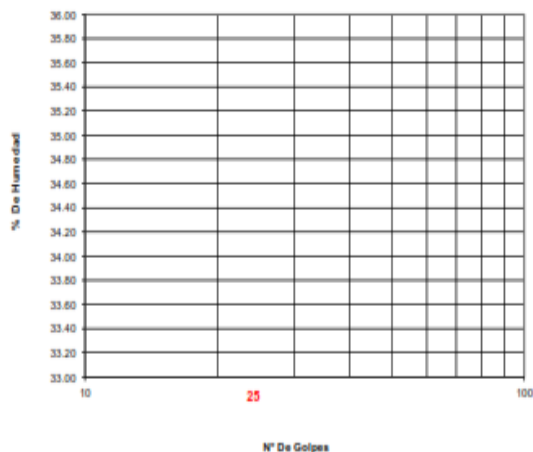
**Determinación del Limite Liquido (N.T.P. 339.129)**

ASTM D-4318

Recipiente N°	66	88	144
Peso del recipiente grs.			
Peso del suelo húmedo + recipiente grs.			
Peso del suelo seco + recipiente grs.			
Peso del agua grs.			
Peso del suelo seco grs.			
Contenido de Humedad %			
Numero de Golpes			

**N.P**

### DIAGRAMA DE FLUIDEZ



Limite Liquido (%)	N.P
Limite Plástico (%)	N.T
Indice de Plasticidad Ip (%)	N.P

**Determinación del Limite Plástico (N.T.P. 339.131)**

ASTM D-4318






Recipiente N°	125	97	70
Peso del recipiente grs.			
Peso del suelo húmedo + recipiente grs.			
Peso del suelo seco + recipiente grs.			
Peso del agua grs.			
Peso del suelo seco grs.			
Contenido de humedad			
Promedio del contenido de humedad LP			

**N.T**

## Calicata 2.




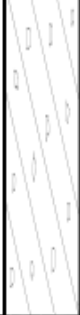



		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA</b> <b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b> Teléfono 522544 - fax 521402 - Anexo 119 Tarapoto - Perú									
<b>REGISTRO DE EXCAVACION</b>											
Ejecuta :		BACH. ALEX J. RAMIREZ TECCO				Elabora :		Tesisista			
PROYECTO :		USO DE BARRERAS DINÁMICAS EN ÁREAS CON AMENAZA DE CAÍDA DE ROCAS PARA MITIGACIÓN DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO, EN EL DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.				Coord :		N: 0349939 E: 9282445			
Ubicación:		DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.				Fecha :		18/12/2019			
Calicata N°		C- 2	Nivel freático: No Presenta	Prof. Exc.	1.00 (m)	Cota As.		350.00 (msnm)			
Cota As. (m)	Estrato	Descripción del Estrato de suelo				CLASIFICACION			ESPESOR (m)	HUMEDAD (%)	FOTO
						AASHTO	UCS	SÍMBOLO			
350.00	I	Material de relleno contaminado							0.70		
349.30											
	II	Formación de roca sedimentada							0.30		
349.00											
<b>OBSERVACIONES:</b> Del registro de excavación que se muestra se ha extraído las muestras MAB y MIB para los ensayos correspondientes, los mismos que han sido extraídas, colectadas, transportadas y preparadas de acuerdo a las normas vigentes en nuestro país y homologadas con normas A.S.T.M. (registro sin escala)											

## Calicata 3.



		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA</b> <b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b> Teléfono 522544 - fax 521402 - Anexo 119 Tarapoto - Perú									
<b>REGISTRO DE EXCAVACION</b>											
Ejecuta :		BACH. ALEX J. RAMÍREZ TECCO				Elabora :		Tesisista			
PROYECTO :		USO DE BARRERAS DINÁMICAS EN ÁREAS CON AMENAZA DE CAÍDA DE ROCAS PARA MITIGACIÓN DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO, EN EL DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.				Coord :		N: 0349886 E: 9282386			
Ubicación:		DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.				Fecha :		18/12/2019			
Calicata N°		C-3		Nivel trático: No Presenta	Prof. Exc.	1.00 (m)	Cota As.	350.00 (msnm)			
Cota As. (m)	Extrato	Descripción del Estrato de suelo				CLASIFICACION			ESPESOR (m)	HUMEDAD (%)	FOTO
						AASHTO	UCS	SÍMBOLO			
350.00	I	Material de relleno contaminado							0.60		
349.40											
	II	Formación de roca sedimentada							0.40		
349.00											
<b>OBSERVACIONES:</b> Del registro de excavación que se muestra se ha extraído las muestras MAB y MIB para los ensayos correspondientes, los mismos que han sido extraídas, colectadas, transportadas y preparadas de acuerdo a las normas vigentes en nuestro país y homologadas con normas A.S.T.M. (registro sin escala)											



## Perforación manual 1. M-II

 <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA</b>  <b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>  <small>Teléfono 522544 -fax 521402 - Anexo 119</small>  <small>Tarapoto - Perú</small> </div> 									
REGISTRO DE EXCAVACION									
Ejecuta :		BACH. ALEX J. RAMÍREZ TECCO					Elabora :		Testista
PROYECTO :		USO DE BARRERAS DINÁMICAS EN ÁREAS CON AMENAZA DE CAÍDA DE ROCAS PARA MITIGACIÓN DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO, EN EL DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.					Coord :		N: 0349959 E: 9282471
Ubicación:		DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.					Fecha :		18/12/2019
Perforación N°		P - 1	Nivel freático: No Presenta	Prof. Exc.	1.70	(m)	Cota As.	330.00	(msnm)
Cota As. (m)	Estrato	Descripción del Estrato de suelo	CLASIFICACION			ESPESOR (m)	HUMEDAD (%)	FOTO	
			AASTO	SUCS	SÍMBOLO				
330.00	I	Material de relleno contaminado				0.90			
349.10	II	Arena arcillosa, Con Grava y Arena: 6.27 - 52.45%, de Media Plasticidad LL = 34.50%, Color: Amarillo rojizo.	A-6(3)	SC		0.00	20.00		
348.50	III	Formación de roca sedimentada				0.20			
348.30									

**OBSERVACIONES:** Del registro de excavación que se muestra se ha extraído las muestras MAB y MIB para los ensayos correspondientes, los mismos que han sido extraídas, colectadas, transportadas y preparadas de acuerdo a las normas vigentes en nuestro país y homologadas con normas A.S.T.M. (registro sin escala)

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA</b> LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS			
<b>Tesis :</b> <u>USO DE BARRERAS DINÁMICAS EN ÁREAS CON AMENAZA DE CAÍDA DE ROCAS PARA MITIGACIÓN DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA</u> <u>EN LA ALAMEDA SHILCAYO, EN EL DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.</u>				
<b>Localización de la Tesis:</b> <u>DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.</u>				
<b>Descripción del Suelo:</b> <u>ARENA ARCILLOSA</u>	<b>Profundidad de la Muestra:</b> <u>0.90 - 1.00 (m)</u>			
<b>Identificación de la Muestra :</b> <u>P - 1</u>	<b>Operador :</b> <u>SACH ALEX J. RAMÍREZ TECCO</u>	<b>Perforación:</b> <u>P-1 Mil</u> <b>Fecha:</b> <u>18/12/2019</u>		
<b>Tipo de Muestra :</b> Alterada <input checked="" type="checkbox"/> No alterada <input type="checkbox"/> Remoldeada <input type="checkbox"/>		<b>Coordenadas Punto Muestreo:</b> <u>N: 0349959 E: 9252471</u>		
<b>Extracción de Muestra :</b> Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Técnico UNSM <input type="checkbox"/>				
<b>Determinación del contenido de humedad de un suelo N.T.P. 339.127</b> <span style="float: right;"><b>ASTM 2216</b></span>				
RECIPIENTE N°	78	57	11	18
Peso del recipiente grs.	114.10	89.20	85.80	103.10
Peso del suelo húmedo + recipiente grs.	414.10	390.20	365.80	403.20
Peso del suelo seco + recipiente grs.	362.30	339.40	333.00	351.80
Peso del agua grs.	51.80	50.80	52.80	51.40
Peso del suelo seco grs.	248.20	250.20	247.20	248.70
Contenido de humedad %	20.87	20.30	21.36	20.67
Promedio de contenido de humedad %	20.50			
<b>Observaciones :</b>				
<b>Tipo de Muestra :</b> Alterada <input type="checkbox"/> No alterada <input type="checkbox"/> Remoldeada <input type="checkbox"/>				
<b>Extracción de Muestra :</b> Cliente <input type="checkbox"/> Técnico UNSM <input type="checkbox"/>				
<b>Determinación del peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo y GS (N.T.P. 339.131) - ASTM D-856</b>				
Picnómetro N°				
VOL. DEL FRASCO A 20° C.				
Método de remoción del aire				
Peso del picnómetro + agua + suelo				
Temperatura °C				
Peso del picnómetro + agua grs.				
Plato Evaporado N°				
Peso del Plato evaporado + suelo seco grs.				
Peso del suelo seco grs.				
Volumen de sólidos cm <sup>3</sup>				
Peso esp. rel. de las part. sólidas del suelo gr/cm <sup>3</sup>				
Densidad del agua a la T° del ensayo gr/cm <sup>3</sup>				
Factor de Corrección				
Gravedad Específica sin corrección				
Gravedad Específica aparente a 20°C				
PROMEDIO Gs				
<b>N.R.</b>				
<b>Tipo de Muestra :</b> Alterada <input type="checkbox"/> No alterada <input type="checkbox"/> Remoldeada <input type="checkbox"/>				
<b>Extracción de Muestra :</b> Cliente <input type="checkbox"/> Técnico UNSM <input type="checkbox"/>				
<b>Determinación del Peso Volumétrico de suelo cohesivo (N.T.P. 339.139)</b> <span style="float: right;"><b>ASTM D-2937</b></span>				
ENSAYO	1	2	3	4
Peso del molde grs.				
Peso del suelo + molde grs.				
Peso del suelo húmedo grs.				
Volumen del molde cm <sup>3</sup>				
Peso volumétrico grs/cm <sup>3</sup>				
Promedio del peso volumétrico cohesivo grs/cm <sup>3</sup>				
<b>N.R.</b>				





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - N.T.P. 400.012 - ASTM D - 423

### A.- DATOS GENERALES

Tesis : USO DE BARRERAS DINÁMICAS EN ÁREAS CON AMENAZA DE CAÍDA DE ROCAS PARA MITIGACIÓN DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA

EN LA ALAMEDA SHILCAYO, EN EL DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.

Localización de la Tesis: DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.

Descripción del Suelo: ARENA ARCILLOSA Profundidad de la Muestra: 0.90 - 1.60 (m)

Hecho Por : BACH. ALEX J. RAMÍREZ TECCO Perforación: P-1 MII

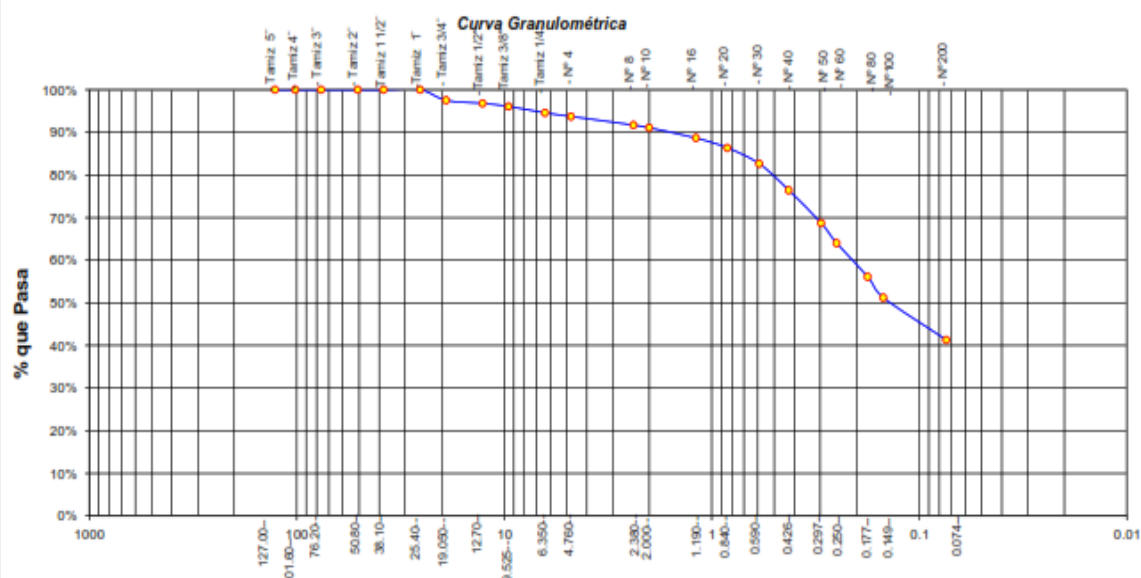
Tipo de Muestra : Alterada ☒ No alterada ☐ Remoldeada ☐

Extracción de Muestra : Cliente ☒ Técnico UNSM ☐ Coordenadas UTM : N: 0349959 E: 9282471

### B.- DATOS TÉCNICOS

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D - 422 - N.T.P. 400.012

Tamices		Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	DATOS TÉCNICOS DEL ENSAYO Y RESULTADOS	
Ø	(mm)						
Tamiz 5"	127.00					Numero del recipiente :	55
Tamiz 4"	101.60					Peso del recipiente :	100
Tamiz 3"	76.20					Peso del recipiente + suelo seco :	1094.3
Tamiz 2"	50.80					Peso del suelo seco antes del lavado :	994.3
Tamiz 1 1/2"	38.10					<b>Resultados Obtenidos:</b>	
Tamiz 1"	25.40				100.00%	Contenido de humedad natural =	20.80
Tamiz 3/4"	19.050	24.74	2.49%	2.49%	97.51%	Límite Líquido	34.50
Tamiz 1/2"	12.700	7.12	0.72%	3.20%	96.80%	Límite Plástico	17.52
Tamiz 3/8"	9.525	7.07	0.71%	3.92%	96.08%	Índice Plástico	16.98
Tamiz 1/4"	6.350	14.97	1.51%	5.42%	94.58%	Grava	6.27%
Nº 4	4.760	8.41	0.85%	6.27%	93.73%	Arena	52.45%
Nº 8	2.380	20.09	2.02%	8.29%	91.71%	Limos y arcillas	41.28%
Nº 10	2.000	6.34	0.64%	8.92%	91.08%	<b>Porcentajes que pasan :</b>	
Nº 16	1.190	24.03	2.42%	11.34%	88.66%	% Pasa el Tamiz Nº 4	93.73%
Nº 20	0.840	22.80	2.29%	13.63%	86.37%	% Pasa el Tamiz Nº 10	91.08%
Nº 30	0.590	37.10	3.73%	17.37%	82.63%	% Pasa el Tamiz Nº 40	76.45%
Nº 40	0.426	61.44	6.18%	23.55%	76.45%	% Pasa el Tamiz Nº 200	41.28%
Nº 50	0.297	77.22	7.77%	31.31%	68.69%	D <sub>60</sub> :	=
Nº 60	0.250	46.63	4.69%	36.00%	64.00%	D <sub>30</sub> :	=
Nº 80	0.177	78.60	7.91%	43.91%	56.09%	D <sub>10</sub> :	=
Nº 100	0.149	48.50	4.88%	48.78%	51.22%	C <sub>c</sub> (Coeficiente de curvatura) :	
Nº 200	0.074	98.76	9.93%	58.72%	41.28%	C <sub>u</sub> (Coeficiente de Uniformidad) :	
Fondo	0.01	410.48	41.28%	100.00%	0.00%	Clasificación S.U.C.S. :	SC
TOTAL		994.30				Clasificación AASHTO :	A-6(3)





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

## FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



**Tesis :** USO DE BARRERAS DINÁMICAS EN ÁREAS CON AMENAZA DE CAÍDA DE ROCAS PARA MITIGACIÓN DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA  
 EN LA ALAMEDA SHILCAYO, EN EL DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.

**Localización de la Tesis:** DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.

**Descripción del Suelo:** ARENA ARCILLOSA Profundidad de la Muestra: 0.90 - 1.60 (m)

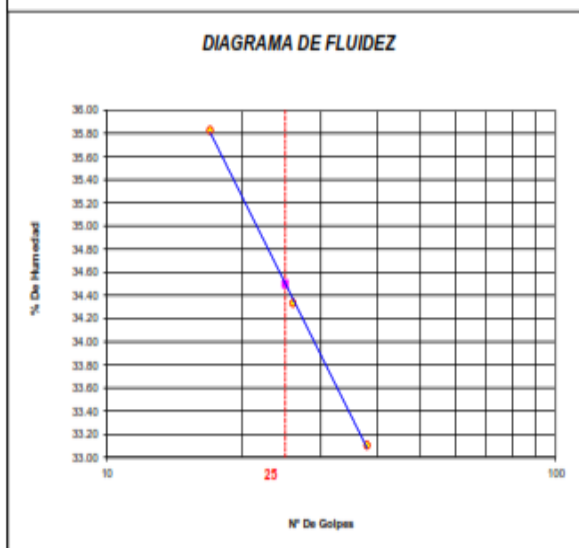
**Identificación de la Muestra :** P - 1 Operador : BACH. ALEX J. RAMÍREZ TECCO Perforación: P-1 Mil Fecha: 15/12/2019

**Tipo de Muestra :** Alterada ☒ No alterada ☐ Remoldeada ☐ Coordenadas Punto Muestreo: N: 0349959 E: 9252471

**Extracción de Muestra :** Cliente ☒ Técnico UNSM ☐

### METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO, E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Determinación del Límite Líquido (N.T.P. 339.129)		ASTM D-4318	
Recipiente N°	66	66	144
Peso del recipiente grs.	20.47	20.46	20.53
Peso del suelo húmedo + recipiente grs.	50.99	50.94	50.96
Peso del suelo seco + recipiente grs.	42.94	43.15	43.39
Peso del agua grs.	8.05	7.79	7.57
Peso del suelo seco grs.	22.47	22.69	22.66
Contenido de Humedad %	35.83	34.33	33.10
Numero de Golpes	17	26	38



Límite Líquido (%)	34.50
Límite Plástico (%)	17.52
Índice de Plasticidad Ip (%)	16.98

Determinación del Límite Plástico (N.T.P. 339.131)		ASTM D-4318	
Recipiente N°	125	97	70
Peso del recipiente grs.	20.56	20.71	20.44
Peso del suelo húmedo + recipiente grs.	47.73	50.73	50.45
Peso del suelo seco + recipiente grs.	43.68	46.26	45.97
Peso del agua grs.	4.05	4.47	4.48
Peso del suelo seco grs.	23.12	25.55	25.53
Contenido de humedad	17.52	17.50	17.55
Promedio del contenido de humedad LP		17.52	

## Anexo C: Resultados y procesamiento de datos obtenidos del Software Rocfall v4.0.

### Perfil 1


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO CI. ENERGIA CINETICA DEL PERFIL 1 CORRIDA EN EL PROGRAMA

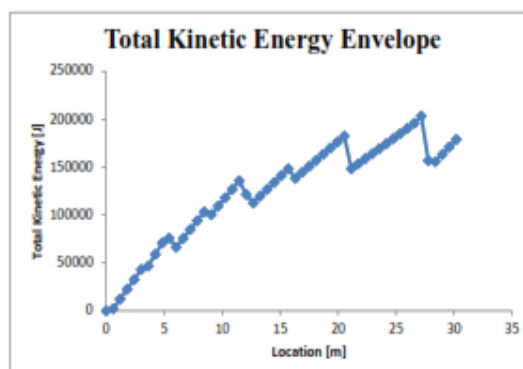


TABLA CI

RESULTADOS DE LA ENERGIA CINETICA OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA EL PERFIL 1

Longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)
0	0	10.268	118076.4552	20.536	182477.5002
0.604	2166.580995	10.872	126916.9953	21.14	148358.1764
1.208	12343.78041	11.476	135757.5354	21.744	153618.5638
1.812	22520.97982	12.08	121497.1619	22.348	158878.9513
2.416	32698.17924	12.684	112609.8684	22.952	164139.3388
3.02	43073.67119	13.288	119746.2289	23.556	169399.7263
3.624	46844.12809	13.892	126882.5893	24.16	174660.1137
4.228	58882.9647	14.496	134018.9498	24.764	179920.5012
4.832	70921.8013	15.1	141155.3102	25.368	185180.8887
5.436	75989.0369	15.704	148291.6707	25.972	190441.2762
6.04	66375.84769	16.308	138274.6065	26.576	195842.2803
6.644	75630.77503	16.912	144589.3056	27.18	203501.8482
7.248	84885.70237	17.516	150904.0047	27.784	156915.7355
7.852	94140.62971	18.12	157218.7038	28.388	155663.9775
8.456	103395.557	18.724	163533.4029	28.992	163437.1357
9.06	100395.375	19.328	169848.102	29.596	171210.2939
9.664	109235.9151	19.932	176162.8011	30.2	178983.452

TABLA C2

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA ENERGIA EXACTA PARA CADA COTA EN EL PERFIL 1

Cota (msnm)	Longitud (m)	Energía cinética en la cota (J)	
	11.476	135757.5354	
324	11.92	X	X= 125369.2170 J
	12.08	121497.1619	
	15.704	148291.6707	
323	16.07	X	X= 142221.728 J
	16.308	138274.6065	
	20.536	182477.5002	
322	20.76	X	X= 169823.9760 J
	21.14	148358.1764	
	25.972	190441.2762	
321	26.39	X	X= 194179.0571 J
	26.576	195842.2803	
320	30.2	178983.452	X= 178983.4520 J


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C2. VELOCIDAD TRASLACIONAL DEL PERFIL 1 CORRIDA EN EL PROGRAMA

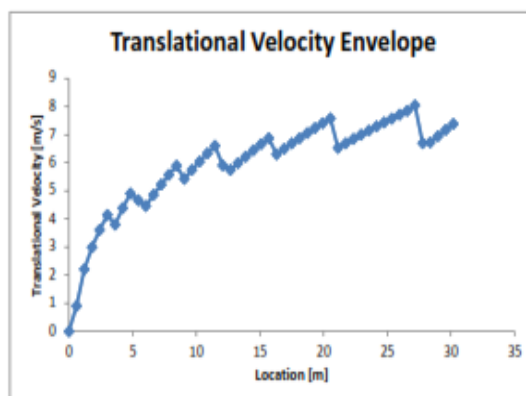


TABLA C3

RESULTADOS DE LA VELOCIDAD TRASLACIONAL OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA EL PERFIL 1

Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)
0	0	10.268	6.046845276	20.536	7.575854173
0.604	0.906028812	10.872	6.332499808	21.14	6.530515087
1.208	2.211734207	11.476	6.605813338	21.744	6.689677293
1.812	2.993768227	12.08	5.910223573	22.348	6.845139683
2.416	3.610197805	12.684	5.745370175	22.952	6.997148867
3.02	4.145316035	13.288	5.988641134	23.556	7.145925221
3.624	3.800217369	13.892	6.222408441	24.16	7.29166663
4.228	4.388301117	14.496	6.44770587	24.764	7.434551583
4.832	4.906395962	15.1	6.665392349	25.368	7.574741727
5.436	4.671666455	15.704	6.876190759	25.972	7.712384017
6.04	4.462972976	16.308	6.30177824	26.576	7.851195379
6.644	4.860051377	16.912	6.499099063	27.18	8.043947789
7.248	5.227051845	17.516	6.690602982	27.784	6.697856245
7.852	5.569923033	18.12	6.876775982	28.388	6.724527346
8.456	5.892878261	18.724	7.058039922	28.992	6.951872503
9.06	5.430645055	19.328	7.234763796	29.596	7.17201468
9.664	5.747009809	19.932	7.407272563	30.2	7.385598002

TABLA C4

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA VELOCIDAD TRASLACIONAL EXACTA PARA CADA COTA EN EL PERFIL 1

Cota (msnm)	Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	
	11.476	6.605813338	
324	11.92	X	X= 6.0944 m/s
	12.08	5.910223573	
	15.704	6.876190759	
323	16.07	X	X= 6.5281 m/s
	16.308	6.30177824	
	20.536	7.575854173	
322	20.76	X	X= 7.1881 m/s
	21.14	6.530515087	
	25.972	7.712384017	
321	26.39	X	X= 7.8084 m/s
	26.576	7.851195379	
320	30.2	7.385598002	X= 7.3856 m/s




PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C3. ENERGIA DE IMPACTO DE LAS ROCAS SOBRE LA BARRERA RXE-500-LA EN EL PERFIL 1

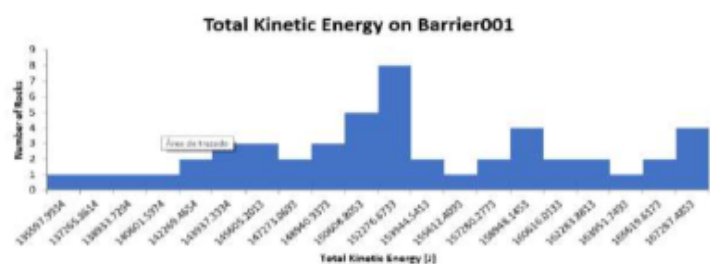


TABLA C5

RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA LOS IMPACTOS SOBRE LA BARRERA EN EL PERFIL 1

Coordenada (X)	Coordenada (Y)	Velocidad Traslacional (m/s)	Velocidad Rotacional (rad/s)	Energía Traslacional (J)	Energía Rotacional (J)	Energía Total (J)
26.39001889	321.0001063	7.032797777	6.627812505	123650.6121	30142.6776	153793.2897
26.39001889	321.0001063	7.141786571	6.800169112	127512.7886	31730.78575	159243.5743
26.39001889	321.0001063	6.752241699	6.20287295	113981.9199	26401.41306	140383.333
26.39001889	321.0001063	6.851325734	6.359584726	117351.6608	27752.29577	145103.9566
26.39001889	321.0001063	6.861559037	6.368402042	117702.4811	27829.30407	145531.7851
26.39001889	321.0001063	6.987477702	6.559835882	122062.1116	29527.54556	151589.6572
26.39001889	321.0001063	6.963119538	6.53045919	121212.5843	29263.67331	150476.2576
26.39001889	321.0001063	7.00217016	6.592350376	122575.9674	29820.98356	152396.9509
26.39001889	321.0001063	6.95258339	6.50757511	120846.0395	29058.94072	149904.9802
26.39001889	321.0001063	6.782940601	6.237057371	115020.708	26693.2146	141713.9226
26.39001889	321.0001063	6.801250652	6.272548082	115642.5261	26997.86356	142640.3897
26.39001889	321.0001063	7.305650118	7.05776821	133431.3091	34180.3246	167611.6337
26.39001889	321.0001063	6.905298145	6.437203901	119207.8562	28433.86727	147641.7234
26.39001889	321.0001063	6.980988498	6.551251834	121835.501	29450.31802	151285.819
26.39001889	321.0001063	6.866438571	6.377398076	117869.9466	27907.98321	145777.9298
26.39001889	321.0001063	7.267273657	6.98969927	132033.166	33524.19681	165557.3628
26.39001889	321.0001063	7.020739112	6.61778479	123226.9442	30051.53636	153278.4806
26.39001889	321.0001063	7.320455278	7.067220019	133972.6637	34271.93492	168244.5986
26.39001889	321.0001063	6.99048923	6.575430227	122167.3492	29668.10092	151835.4501
26.39001889	321.0001063	7.017485874	6.626305362	123112.77	30128.97046	153241.7404
26.39001889	321.0001063	7.121853282	6.774062889	126801.9854	31487.62094	158289.6064
26.39001889	321.0001063	7.054956716	6.665162911	124431.0357	30483.36724	154914.4029
26.39001889	321.0001063	7.086067293	6.721830036	125530.8742	31003.90905	156534.7833
26.39001889	321.0001063	6.652813552	6.029741213	110649.8204	24948.17299	135597.9934
26.39001889	321.0001063	6.721605652	6.140179607	112949.9563	25870.4242	138820.3805
26.39001889	321.0001063	6.839349603	6.328559915	116941.7575	27482.1808	144423.9383
26.39001889	321.0001063	6.947189818	6.498300426	120658.6159	28976.16936	149634.7853
26.39001889	321.0001063	7.197844013	6.889525588	129522.3961	32570.17073	162092.5668
26.39001889	321.0001063	7.03861891	6.645267912	123855.3904	30301.65782	154157.0482
26.39001889	321.0001063	6.996398699	6.577738943	122373.9869	29688.93827	152062.9251
26.39001889	321.0001063	6.88723196	6.411016478	118584.9102	28202.99214	146787.9023
26.39001889	321.0001063	6.886744252	6.413950927	118568.116	28228.81619	146796.9322
26.39001889	321.0001063	7.137576411	6.798790818	127362.4926	31717.92433	159080.4169
26.39001889	321.0001063	7.206270198	6.904020805	129825.8254	32707.36692	162533.1923
26.39001889	321.0001063	6.989660812	6.569575987	122138.3957	29615.2962	151753.6919
26.39001889	321.0001063	7.009062894	6.597364127	122817.4066	29866.36095	152683.7676
26.39001889	321.0001063	7.332780912	7.093897445	134424.1898	34531.16348	168955.3532
26.39001889	321.0001063	7.316221751	7.066776695	133817.7518	34267.63532	168085.3871
26.39001889	321.0001063	6.91054884	6.443179523	119389.2132	28486.68179	147875.895
26.39001889	321.0001063	7.001482493	6.58308612	122551.8928	29737.22736	152289.1201
26.39001889	321.0001063	7.164617177	6.835798773	128329.3482	32064.16537	160393.5136
26.39001889	321.0001063	7.032989061	6.63135767	123657.3378	30174.93239	153832.2702
26.39001889	321.0001063	7.111021431	6.763481464	126416.5645	31389.32729	157805.8918
26.39001889	321.0001063	6.798998608	6.263964921	115565.9552	26924.02803	142489.9832
26.39001889	321.0001063	7.19840174	6.888942249	129542.469	32564.65551	162107.1246
26.39001889	321.0001063	7.006806391	6.597617416	122738.3395	29868.65429	152606.9938
26.39001889	321.0001063	7.229523214	6.944865109	130665.0148	33095.50634	163760.5211
26.39001889	321.0001063	7.152795039	6.825960979	127906.1922	31971.94099	159878.1332
26.39001889	321.0001063	7.29208853	7.030386743	132936.3878	33915.62564	166852.0135
26.39001889	321.0001063	7.267120975	6.998303106	132027.6182	33606.77954	165634.3977

Maximo Impacto

## Perfil 2


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C4. ENERGIA CINETICA DEL PERFIL 2 CORRIDA EN EL PROGRAMA

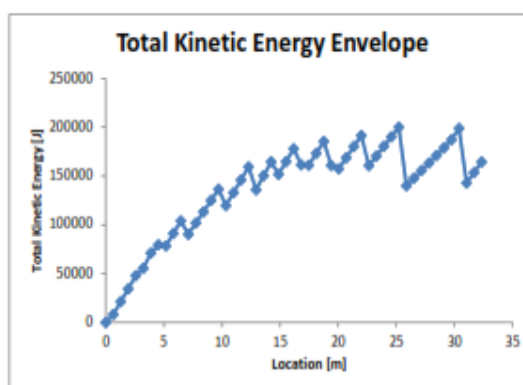


TABLA C6

RESULTADOS DE LA ENERGIA CINETICA OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA EL PERFIL 2

Longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)
0	0	10.9956	132965.9884	21.9912	191615.2104
0.6468	8207.408937	11.6424	146070.9514	22.638	160672.0646
1.2936	21312.39769	12.2892	159381.0948	23.2848	170551.9283
1.9404	34417.38645	12.936	136012.9191	23.9316	180431.792
2.5872	47969.21898	13.5828	150363.1029	24.5784	190311.6558
3.234	55538.55762	14.2296	164713.2866	25.2252	200191.5195
3.8808	71161.11353	14.8764	151650.0486	25.872	140058.2756
4.5276	79632.70728	15.5232	164809.4305	26.5188	147831.4336
5.1744	78483.99435	16.17	177968.8124	27.1656	155604.5916
5.8212	91271.95423	16.8168	161420.0235	27.8124	163377.7497
6.468	104059.9141	17.4636	161157.2397	28.4592	171150.9077
7.1148	90378.35714	18.1104	173308.2733	29.106	178924.0657
7.7616	101910.814	18.7572	185459.3068	29.7528	187249.7446
8.4084	113443.2709	19.404	160884.8698	30.3996	198908.4293
9.0552	124975.7278	20.0508	157391.1855	31.0464	142908.8908
9.702	136510.4655	20.6976	168799.1938	31.6932	153695.9389
10.3488	119861.0253	21.3444	180207.2021	32.34	164482.987

TABLA C7

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA ENERGIA EXACTA EN CADA COTA EN EL PERFIL 2

Cota (msnm)	Longitud (m)	Energía cinética en la cota (J)	
	18.7572	185459.3068	
324	19.33	X	X= 163696.4164 J
	19.404	160884.8698	
	21.9912	191615.2104	
323	22.11	X	X= 185931.7754 J
	22.638	160672.0646	
	25.2252	200191.5195	
322	25.32	X	X= 191377.9271 J
	25.872	140058.2756	
	29.106	178924.0657	
321	29.4	X	X= 182708.4652 J
	29.7528	187249.7446	
320	32.34	164482.987	X= 164482.9870 J


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C5. VELOCIDAD TRASLACIONAL EN EL PERFIL 2 CORRIDA EN EL PROGRAMA

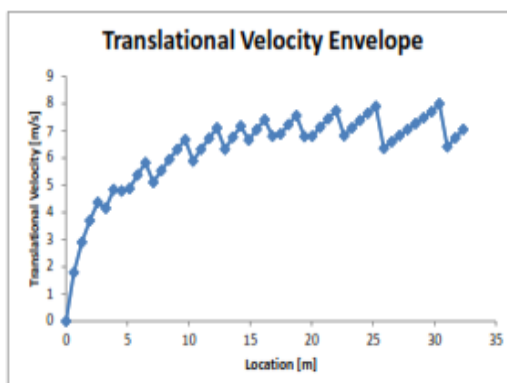


TABLA C8

RESULTADOS DE LA VELOCIDAD TRASLACIONAL OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCKFALL PARA EL PERFIL 2

Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)
0	0	10.9956	6.320505959	21.9912	7.744556505
0.6468	1.788528503	11.6424	6.722408854	22.638	6.825940878
1.2936	2.905310605	12.2892	7.107379135	23.2848	7.109529827
1.9404	3.699030307	12.936	6.325960727	23.9316	7.382232715
2.5872	4.370761744	13.5828	6.764455086	24.5784	7.645214539
3.234	4.151322633	14.2296	7.176205551	25.2252	7.899446237
3.8808	4.845874737	14.8764	6.659950012	25.872	6.357399593
4.5276	4.787856866	15.5232	7.044053302	26.5188	6.597408035
5.1744	4.874846631	16.17	7.408268332	27.1656	6.828986454
5.8212	5.373947676	16.8168	6.805906894	27.8124	7.052965277
6.468	5.830480047	17.4636	6.885036671	28.4592	7.270046933
7.1148	5.108383194	18.1104	7.2293944	29.106	7.48083188
7.7616	5.54153062	18.7572	7.558078911	29.7528	7.700202413
8.4084	5.943193111	19.404	6.790172177	30.3996	7.99728648
9.0552	6.319377114	20.0508	6.803568585	31.0464	6.414356366
9.702	6.674460442	20.6976	7.131041215	31.6932	6.742313166
10.3488	5.891248626	21.3444	7.444121986	32.34	7.055041181

TABLA C9

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA VELOCIDAD TRASLACIONAL EXACTA EN CADA COTA PARA EL PERFIL 2

Cota (msnm)	Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	
	18.7572	7.558078911	
324	19.33	X	X= 6.8780 m/s
	19.404	6.790172177	
	21.9912	7.744556505	
323	22.11	X	X= 7.5757 m/s
	22.638	6.825940878	
	25.2252	7.899446237	
322	25.32	X	X= 7.6753 m/s
	25.872	6.357399593	
	29.106	7.48083188	
321	29.4	X	X= 7.5805 m/s
	29.7525	7.700202413	
320	32.34	7.055041181	X= 7.0550 m/s




PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARPOTO, PROVINCIA DE MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C6. ENERGIA DE IMPACTO DE LAS ROCAS SOBRE LA BARRERA RXE-500-LA EN EL PERFIL 2

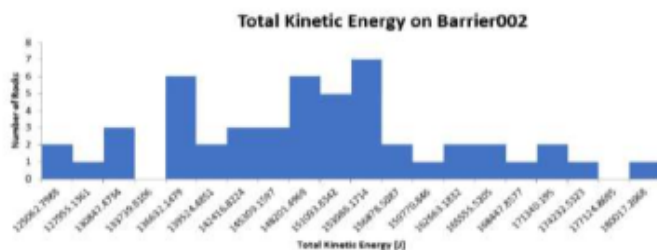


TABLA C10

RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA LOS IMPACTOS SOBRE LA BARRERA EN EL PERFIL 12

Coordenada (X)	Coordenada (Y)	Velocidad Traslacional (m/s)	Velocidad Rotacional (rad/s)	Energía Traslacional (J)	Energía Rotacional (J)	Energía Total (J)	
29.40002666	321.0001088	6.738576987	6.293964315	113521.0495	27182.5348	140703.5843	
29.40002666	321.0001088	7.055152277	6.781778731	124437.9341	31559.39231	155997.3264	
29.40002666	321.0001088	7.027638373	6.705004069	123469.2528	30848.88643	154318.1392	
29.40002666	321.0001088	7.211927495	7.067886781	130029.7455	34278.40204	164308.1475	
29.40002666	321.0001088	7.424585759	7.343836054	137811.1842	37007.29535	174818.4796	
29.40002666	321.0001088	6.867254481	6.454105391	117897.9603	28583.37492	146481.3352	
29.40002666	321.0001088	6.672720745	6.191636455	111313.0053	26305.84746	137618.8528	
29.40002666	321.0001088	6.408859063	5.710849706	102683.6862	22379.11263	125062.7988	
29.40002666	321.0001088	6.928978151	6.556492041	120026.8456	29497.45022	149524.2958	
29.40002666	321.0001088	6.871862768	6.463476844	118056.2448	28666.44212	146722.6869	
29.40002666	321.0001088	6.990342455	6.695294547	122162.2191	30759.60652	152921.8256	
29.40002666	321.0001088	7.050420328	6.784075735	124271.067	31580.77441	155851.8414	
29.40002666	321.0001088	6.595931375	6.023446159	108765.7768	24896.10836	133661.8851	
29.40002666	321.0001088	7.592306949	7.519775169	144107.812	38801.73204	182909.544	
29.40002666	321.0001088	6.677935391	6.183975692	111487.0527	26240.79254	137727.8453	
29.40002666	321.0001088	6.761677165	6.346688166	114300.6952	27639.85251	141940.5477	
29.40002666	321.0001088	7.375996621	7.263748671	136013.3154	36204.53869	172217.8541	
29.40002666	321.0001088	7.321114462	7.192213519	133996.7924	35494.948	169491.7404	
29.40002666	321.0001088	6.998663501	6.701195191	122453.227	30813.84804	153267.075	
29.40002666	321.0001088	7.042384153	6.749162744	123987.9364	31256.56158	155244.498	
29.40002666	321.0001088	6.830685448	6.462746563	116645.6592	28659.96469	145305.6239	
29.40002666	321.0001088	6.904986625	6.530970634	119197.1007	29268.25715	148465.3579	
29.40002666	321.0001088	7.226495795	7.063120821	130555.6037	34232.18896	164787.7926	
29.40002666	321.0001088	6.696738465	6.238379048	112115.7652	26704.52877	138820.2939	
29.40002666	321.0001088	6.594862132	5.998139895	108730.5163	24687.3561	133417.8724	
29.40002666	321.0001088	6.561176308	5.979379969	107622.5864	24533.17205	132155.7584	
29.40002666	321.0001088	7.172244318	6.936188504	128602.7214	33012.86189	161615.5833	
29.40002666	321.0001088	7.054212525	6.76231887	124404.7859	31378.53703	155783.3229	
29.40002666	321.0001088	6.988040462	6.66328127	122081.7737	30466.15816	152547.9319	
29.40002666	321.0001088	6.906959312	6.556703145	119265.2174	29499.34975	148764.5671	
29.40002666	321.0001088	7.080276346	6.781169642	125325.7829	31553.7237	156879.5066	
29.40002666	321.0001088	6.681779727	6.214727216	111615.4508	26502.42059	138117.8714	
29.40002666	321.0001088	6.806109341	6.402892855	115807.8109	28131.56344	143939.3743	
29.40002666	321.0001088	6.948806078	6.542526982	120714.7648	29371.92733	150086.6921	
29.40002666	321.0001088	6.77637374	6.358548377	114798.1027	27743.25156	142541.3542	
29.40002666	321.0001088	7.113620207	6.873461835	126508.9811	32418.4653	158927.4464	
29.40002666	321.0001088	6.908829974	6.541275529	119329.829	29360.69189	148690.5209	
29.40002666	321.0001088	6.525217019	5.941093958	106446.1429	24220.00574	130666.1486	
29.40002666	321.0001088	7.253149354	7.082143397	131520.4389	34416.82726	165937.2661	
29.40002666	321.0001088	7.262756998	7.029473573	131869.098	33906.81567	165775.9137	
29.40002666	321.0001088	6.844098719	6.46310355	117104.2182	28663.13099	145767.3492	
29.40002666	321.0001088	6.990422804	6.466000771	122165.0274	30308.3417	152473.3691	
29.40002666	321.0001088	6.674482519	6.208158873	111371.7922	26446.4294	137818.2216	
29.40002666	321.0001088	7.396871532	7.228928992	136784.2711	35858.26874	172642.5399	
29.40002666	321.0001088	6.703380969	6.22403029	112338.291	26581.82504	138920.1161	
29.40002666	321.0001088	7.020995301	6.734192408	123235.9376	31118.05484	154353.9924	
29.40002666	321.0001088	7.052032	6.765888489	124327.8883	31411.67329	155739.5616	
29.40002666	321.0001088	6.916488808	6.541319072	119594.5436	29361.08278	148955.6263	
29.40002666	321.0001088	6.982745917	6.663069948	121896.8513	30464.22576	152361.0771	
29.40002666	321.0001088	6.431551483	5.789032264	103412.1362	22996.05508	126408.1913	

Impacto Maximo



## Perfil 3


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C7. ENERGIA CINETICA DEL PERFIL 3 CORRIDA EN EL PROGRAMA

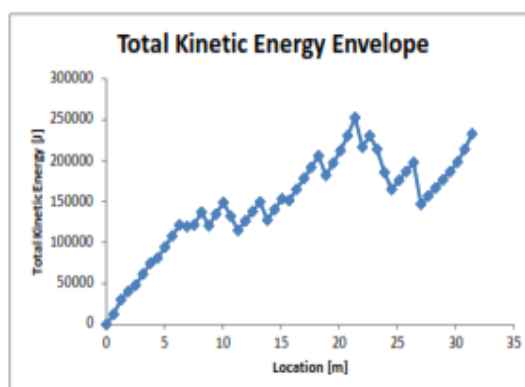


TABLA C11

RESULTADOS DE LA ENERGIA CINETICA OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA EL PERFIL 3

Longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)
0	0	10.6828	132161.0265	21.3656	252598.8626
0.6284	12306.00257	11.3112	114839.2378	21.994	216524.373
1.2568	30219.53713	11.9396	126422.6877	22.6224	230422.7211
1.8852	40616.12186	12.568	138006.1377	23.2508	214049.0622
2.5136	48021.24543	13.1964	149642.7858	23.8792	185785.3342
3.142	61417.69831	13.8248	127541.4401	24.5076	165009.5557
3.7704	74814.15119	14.4532	140487.5629	25.136	175935.7997
4.3988	81059.22714	15.0816	153433.6856	25.7644	186862.0438
5.0272	94514.19332	15.71	151516.4235	26.3928	197788.2878
5.6556	107969.1595	16.3384	164912.8788	27.0212	146861.5662
6.284	121424.1257	16.9668	178309.334	27.6496	156769.0052
6.9124	119622.7878	17.5952	191705.7892	28.278	166676.4441
7.5408	121423.5393	18.2236	206020.9193	28.9064	176583.8831
8.1692	137143.5917	18.852	182175.2689	29.5348	186493.5545
8.7976	120506.5682	19.4804	197060.002	30.1632	198330.7602
9.426	134705.5458	20.1088	212261.051	30.7916	213745.3043
10.0544	148904.5234	20.7372	230558.6613	31.42	232737.1867

TABLA C12

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA ENERGIA EXACTA EN CADA COTA EN EL PERFIL 3

Cota (msnm)	Longitud (m)	Energía cinética en la cota (J)	
	20.7372	230558.6613	
324	21.33	X	X= 251350.2452 J
	21.3656	252598.8626	
	23.2508	214049.0622	
323	23.58	X	X= 199242.5389 J
	23.8792	185785.3342	
	26.3928	197788.2878	
322	26.4	X	X= 197204.7862 J
	27.0212	146861.5662	
	28.9064	176583.8831	
321	29.51	X	X= 186102.4665 J
	29.5348	186493.5545	
320	31.42	232737.1867	X= 232737.1867 J


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C8. VELOCIDAD TRASLACIONAL DEL PERFIL 3 CORRIDA EN EL PROGRAMA

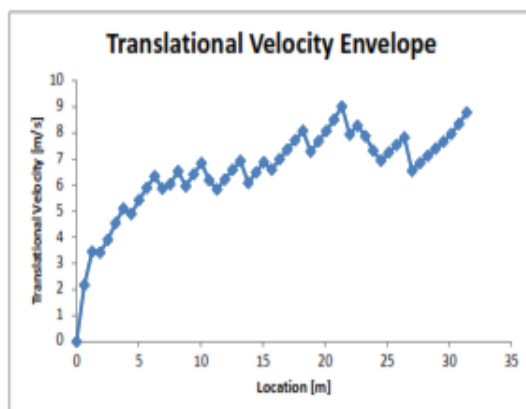


TABLA C13

RESULTADOS DE LA VELOCIDAD TRASLACIONAL OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA EL PERFIL 3

Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)
0	0	10.6828	6.186974184	21.3656	9.016077035
0.6284	2.16668781	11.3112	5.838105196	21.994	7.936159005
1.2568	3.443827796	11.9396	6.222286862	22.6224	8.279007125
1.8852	3.416276712	12.568	6.584089557	23.2508	7.878274733
2.5136	3.908734927	13.1964	6.928556269	23.8792	7.324286317
3.142	4.542773369	13.8248	6.081437285	24.5076	6.94148337
3.7704	5.098565586	14.4532	6.493252575	25.136	7.24946129
4.3988	4.900549529	15.0816	6.880463542	25.7644	7.544878171
5.0272	5.421934356	15.71	6.596912747	26.3928	7.829156035
5.6556	5.897402702	16.3384	6.991268833	27.0212	6.547631113
6.284	6.337297934	16.9668	7.364538138	27.6496	6.843569886
6.9124	5.868596823	17.5952	7.719780054	28.278	7.127231186
7.5408	6.036377825	18.2236	8.082144276	28.9064	7.400027025
8.1692	6.536503514	18.852	7.288361106	29.5348	7.663176138
8.7976	5.959394149	19.4804	7.68596779	30.1632	7.966125207
9.426	6.418252852	20.1088	8.071835011	30.7916	8.344157743
10.0544	6.846426857	20.7372	8.513140699	31.42	8.787589056

TABLA C14

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA VELOCIDAD TRASLACIONAL EXACTA EN CADA COTA EN EL PERFIL 3

Cota (msnm)	Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	
	20.7372	8.513140699	
324	21.33	X	X= 8.9876 m/s
	21.3656	9.016077035	
	23.2508	7.878274733	
323	23.58	X	X= 7.5880 m/s
	23.8792	7.324286317	
	26.3928	7.829156035	
322	26.4	X	X= 7.8144 m/s
	27.0212	6.547631113	
	28.9064	7.400027025	
321	29.51	X	X= 7.6527 m/s
	29.5348	7.663176138	
320	31.42	8.787589056	X= 8.7876 m/s


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARPOTO, PROVINCIA DE MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C9. ENERGIA DE IMPACTO DE LAS ROCAS SOBRE LA BARRERA RXE-500-LA EN EL PERFIL 3

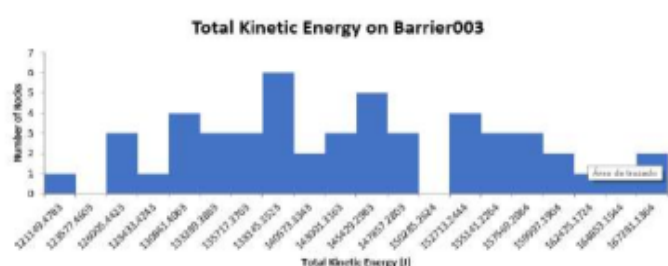


TABLA C15

RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA LOS IMPACTOS SOBRE LA BARRERA EN EL PERFIL 3

Coordenada (X)	Coordenada (Y)	Velocidad Traslacional (m/s)	Velocidad Rotacional (rad/s)	Energía Traslacional (J)	Energía Rotacional (J)	Energía Total (J)
29.5100349	321.0001085	7.174929634	6.873788557	128699.0381	32421.54732	161120.5855
29.5100349	321.0001085	6.877212933	6.401415449	118240.1443	28118.58275	146358.7271
29.5100349	321.0001085	6.754985248	6.210887587	114074.5642	26469.68286	140544.2471
29.5100349	321.0001085	6.640095048	6.039141398	110227.1556	25026.02053	135253.1761
29.5100349	321.0001085	7.133552919	6.815028926	127218.9431	31869.61428	159088.5574
29.5100349	321.0001085	6.891108246	6.438966407	118718.4321	28449.43978	147167.8719
29.5100349	321.0001085	6.753928492	6.224850016	114038.8752	26588.82734	140627.7025
29.5100349	321.0001085	6.718750657	6.141764461	112854.026	25883.78086	138737.8068
29.5100349	321.0001085	6.685553611	6.094721611	111741.5677	25488.78573	137230.3534
29.5100349	321.0001085	6.609244969	5.978074176	109205.2977	24522.45799	133727.7557
29.5100349	321.0001085	6.579981418	5.924562643	108240.3887	24085.40713	132325.7958
29.5100349	321.0001085	6.930259957	6.505211012	120071.2577	29037.83126	149109.0889
29.5100349	321.0001085	7.15483656	6.842495609	127979.2155	32127.02084	160106.2363
29.5100349	321.0001085	6.793306696	6.282305961	115372.5397	27081.92727	142454.4669
29.5100349	321.0001085	7.205400314	6.91669445	129794.4842	32827.55834	162622.0425
29.5100349	321.0001085	6.548972553	5.875340931	107222.6037	23686.86285	130909.4666
29.5100349	321.0001085	6.700050643	6.137342518	112226.6965	25846.52271	138073.2193
29.5100349	321.0001085	7.075492436	6.72884829	125156.483	31068.68513	156225.1682
29.5100349	321.0001085	6.819675497	6.314317723	116269.9347	27358.62471	143628.5594
29.5100349	321.0001085	6.522790688	5.843998373	106366.9959	23434.81735	129801.8133
29.5100349	321.0001085	6.471648172	5.750865956	104705.5752	22693.83486	127399.41
29.5100349	321.0001085	6.741848035	6.187949225	113631.2873	26274.52559	139905.8129
29.5100349	321.0001085	6.334637078	5.509703387	100319.0673	20830.411	121149.4783
29.5100349	321.0001085	6.646282472	6.038797678	110432.6767	25023.17188	135455.8486
29.5100349	321.0001085	6.719951637	6.159919096	112894.375	26037.02839	138931.4034
29.5100349	321.0001085	6.867458609	6.402366307	117904.9694	28126.93678	146031.9061
29.5100349	321.0001085	7.284039394	7.030140829	132643.0747	33913.25303	166556.3278
29.5100349	321.0001085	6.908245563	6.457338335	119309.6419	28612.01765	147921.6596
29.5100349	321.0001085	6.576013886	5.929205934	108109.8966	24123.17511	132233.0717
29.5100349	321.0001085	6.700904941	6.12266939	112255.3176	25723.08297	137978.4005
29.5100349	321.0001085	7.03190246	6.659733193	123619.1305	30433.72144	154052.852
29.5100349	321.0001085	6.712647645	6.156375663	112649.096	26007.08192	138656.1779
29.5100349	321.0001085	7.075315053	6.711807037	125150.2078	30911.5174	156061.7252
29.5100349	321.0001085	6.845857594	6.348350402	117164.4155	27654.33249	144818.748
29.5100349	321.0001085	6.445319055	5.709423266	103855.3443	22367.93443	126223.2787
29.5100349	321.0001085	7.319202942	7.098354935	133926.8293	34574.57281	168501.4021
29.5100349	321.0001085	7.051665576	6.672886339	124314.9685	30554.05493	154869.0234
29.5100349	321.0001085	7.026640588	6.635137228	123434.1949	30209.33874	153643.5336
29.5100349	321.0001085	6.583096693	5.939790969	108342.9052	24209.38314	132552.2883
29.5100349	321.0001085	6.453314674	5.719236629	104113.1757	22444.89258	126558.0683
29.5100349	321.0001085	6.745435811	6.204597076	113752.2607	26416.09196	140168.3527
29.5100349	321.0001085	7.111060229	6.764235189	126417.9439	31396.32377	157814.2677
29.5100349	321.0001085	7.342530819	7.134463463	134781.8971	34927.22136	169709.1184
29.5100349	321.0001085	7.076845311	6.717232872	125204.3489	30961.51543	156165.8643
29.5100349	321.0001085	6.951833777	6.53139564	120819.9822	29272.06657	150092.0487
29.5100349	321.0001085	6.844415016	6.355890701	117115.0423	27720.06477	144835.1071
29.5100349	321.0001085	7.041549931	6.659766967	123958.5636	30434.03012	154392.5937
29.5100349	321.0001085	7.138058313	6.823460052	127379.6912	31948.51723	159328.2084
29.5100349	321.0001085	6.869023655	6.404377959	117958.7149	28144.61477	146103.3297
29.5100349	321.0001085	6.861745775	6.391593251	117708.8877	28032.35983	145741.2475

Maximo Impacto

## Perfil 4


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C10. ENERGIA CINETICA DEL PERFIL 4 CORRIDA EN EL PROGRAMA

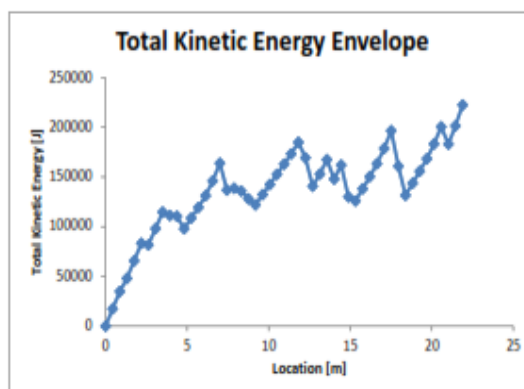


TABLA C16

RESULTADOS DE LA ENERGIA CINETICA OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCKFALL PARA EL PERFIL 4

Longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)
0	0	7.4426	136844.1538	14.8852	130052.1811
0.4378	17452.16288	7.8804	138829.4995	15.323	126078.6357
0.8756	34903.79033	8.3182	135915.8686	15.7608	138275.1732
1.3134	48121.28555	8.756	127979.3164	16.1986	150471.7106
1.7512	65715.9207	9.1938	122079.2625	16.6364	163366.8449
2.189	83310.55586	9.6316	132301.288	17.0742	178700.9293
2.6268	81632.21803	10.0694	142523.3135	17.512	196553.899
3.0646	98144.1808	10.5072	152745.3389	17.9498	160879.2088
3.5024	114656.1436	10.945	162967.3644	18.3876	131630.6564
3.9402	111350.7929	11.3828	173245.5701	18.8254	143758.2302
4.378	110678.5385	11.8206	184995.5157	19.2632	155885.804
4.8158	97952.04731	12.2584	169449.8156	19.701	168444.5536
5.2536	108685.0001	12.6962	140785.8271	20.1388	183240.7882
5.6914	119417.9528	13.134	153127.1961	20.5766	200471.3653
6.1292	131283.0185	13.5718	167414.1471	21.0144	183168.0928
6.567	146143.5477	14.0096	147884.2198	21.4522	201501.0055
7.0048	164025.3453	14.4474	162005.9497	21.89	222608.0962

TABLA C17

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA ENERGIA EXACTA EN CADA COTA EN EL PERFIL 4

Cota (msnm)	Longitud (m)	Energía cinética en la cota (J)	
	16.1986	150471.7106	
324	16.31	X	X= 153752.3256 J
	16.6364	163366.8449	
	17.512	196553.899	
323	17.67	X	X= 183679.6679 J
	17.9498	160879.2088	
	19.2632	155885.804	
322	19.44	X	X= 160957.4964 J
	19.701	168444.5536	
	20.5766	200471.3653	
321	20.79	X	X= 192037.1068 J
	21.0144	183168.0928	
320	21.89	222608.0962	X= 222608.0962 J




PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C11. VELOCIDAD TRASLACIONAL DEL PERFIL 4 CORRIDA EN EL PROGRAMA

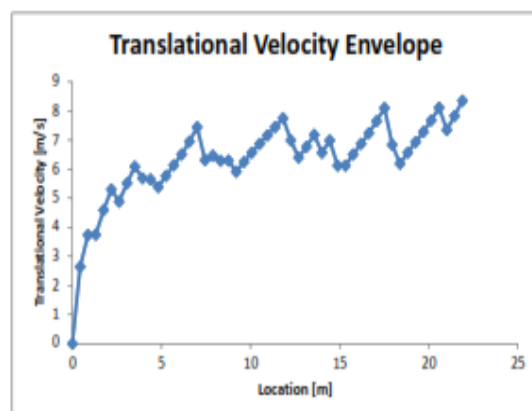


TABLA C18

RESULTADOS DE LA VELOCIDAD TRASLACIONAL OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA EL PERFIL 4

Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)
0	0	7.4426	6.30983045	14.8852	6.115167621
0.4378	2.642097642	7.8804	6.45978069	15.323	6.115788709
0.8756	3.736486441	8.3182	6.29004351	15.7608	6.502421587
1.3134	3.741814107	8.756	6.292557067	16.1986	6.867321272
1.7512	4.586831899	9.1938	5.906852202	16.6364	7.233129005
2.189	5.298762208	9.6316	6.243373538	17.0742	7.645376965
2.6268	4.881781661	10.0694	6.562661299	17.512	8.098949119
3.0646	5.516935767	10.5072	6.86711974	17.9498	6.835641036
3.5024	6.086162036	10.945	7.158641192	18.3876	6.187376828
3.9402	5.686560303	11.3828	7.440257117	18.8254	6.567698344
4.378	5.643798719	11.8206	7.749671234	19.2632	6.927170496
4.8158	5.382421672	12.2584	6.988905067	19.701	7.280741096
5.2536	5.767464274	12.6962	6.394217099	20.1388	7.676436983
5.6914	6.128362364	13.134	6.769236285	20.5766	8.112947403
6.1292	6.504064232	13.5718	7.178951196	21.0144	7.343339066
6.567	6.946010597	14.0096	6.567430376	21.4522	7.826735828
7.0048	7.443102999	14.4474	6.98425613	21.89	8.348690317

TABLA C19

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA VELOCIDAD TRASLACIONAL EXACTA EN CADA COTA PARA EL PERFIL 4

Cota (msnm)	Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	
	16.1986	6.867321272	
324	16.31	X	X= 6.9604 m/s
	16.6364	7.233129005	
	17.512	8.098949119	
323	17.67	X	X= 7.6430 m/s
	17.9498	6.835641036	
	19.2632	6.927170496	
322	19.44	X	X= 7.0698 m/s
	19.701	7.280741096	
	20.5766	8.112947403	
321	20.79	X	X= 7.7377 m/s
	21.0144	7.343339066	
320	21.89	8.348690317	X= 8.3487 m/s


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARPOTO, PROVINCIA DE MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C12. ENERGIA DE IMPACTO DE LAS ROCAS SOBRE LA BARRERA RXE-500-LA EN EL PERFIL 4

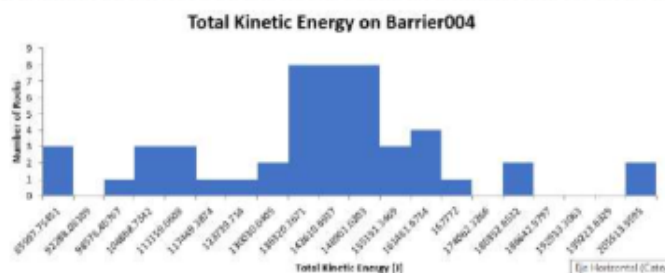


TABLA C20

RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCCFALL PARA LOS IMPACTOS SOBRE LA BARRERA EN EL PERFIL 4

Coordenada (X)	Coordenada (Y)	Velocidad Traslacional (m/s)	Velocidad Rotacional (rad/s)	Energía Traslacional (J)	Energía Rotacional (J)	Energía Total (J)
20.79006786	321.0000916	5.407847948	6.497131073	73112.04858	28965.74191	102077.7905
20.79003461	321.0065415	6.827726631	8.040801323	116544.6274	44364.95681	160909.5842
20.79003576	321.0067584	6.637752798	7.668293738	110149.4055	40349.56722	150498.9727
20.79001582	321.0029904	6.335705181	7.319784639	100352.9004	36765.29095	137118.1913
20.79000323	321.0006111	5.52810728	6.617975406	76399.92526	30053.26757	106453.1928
20.79000095	321.001795	8.343238401	7.40375894	174024.0675	37613.68995	211637.7575
20.79003118	321.0058932	6.497564509	7.519189343	105545.8614	38795.6866	144341.548
20.79003087	321.0058351	6.62073636	7.672178964	109585.3749	40390.46469	149975.8396
20.79000194	321.0003663	6.364778169	7.169056743	101276.0029	35266.74973	136542.7526
20.79001828	321.0034556	6.898790447	8.234568525	118983.2741	46528.93329	165512.2074
20.79001424	321.0026911	8.353679712	7.3772057	174459.9118	37344.37423	211804.286
20.79003918	321.0074043	6.386415435	7.346441099	101965.7553	37033.55486	138999.3101
20.79006786	321.0000916	5.858970351	7.063044823	85818.83392	34231.4523	120050.2862
20.79005098	321.0096351	6.666068297	7.751289011	111091.1663	41227.71454	152318.8809
20.79003652	321.0069021	6.33098968	7.18851652	100203.5758	35458.46658	135662.0424
20.79003651	321.0069005	6.92610333	8.150059653	119927.2683	45578.80927	165506.0776
20.79001144	321.002163	7.215592436	8.654258542	130161.9355	51392.66407	181554.5996
20.79002671	321.0050482	6.395118125	7.484413999	102243.8396	38437.66567	140681.5053
20.7900032	321.0006056	6.337157215	7.212894161	100398.9039	35699.36732	136098.2713
20.79006786	321.0000916	5.157983334	6.072686597	66511.98019	25304.81327	91816.79346
20.79003041	321.0057476	6.770339091	7.92869221	114593.7285	43136.46162	157730.1901
20.79004073	321.0076989	6.644831082	7.818654027	110384.4503	41947.43333	152331.8836
20.7900124	321.0023435	6.193464904	7.02249522	95897.5188	33839.52862	129737.0474
20.79004635	321.008761	6.451447	7.522304006	104052.921	38827.83382	142880.7548
20.79003824	321.0072268	6.845209797	8.044871547	117142.2429	44409.88293	161552.1259
20.79005161	321.0097542	6.419408121	7.39110614	103022.0016	37485.23848	140507.24
20.79004811	321.0090932	6.768969563	7.773371248	114547.3724	41462.95206	156010.3244
20.7900277	321.005235	6.546734844	7.572043297	107149.3428	39343.00947	146492.3523
20.79003196	321.0060404	6.686845152	7.90275294	111784.7452	42854.67543	154639.4207
20.79003408	321.0064416	6.434428945	7.441745664	103504.6896	38000.65185	141505.3415
20.79000167	321.0003154	5.738957992	6.795475942	82339.0971	31687.00255	114026.0996
20.79006786	321.0000916	4.96248033	5.967065797	61565.52758	24432.22694	85997.75451
20.79000238	321.0004494	5.726779199	6.876603185	81989.99942	32448.10423	114438.1036
20.79000308	321.0005818	5.796573999	6.931532007	84000.67531	32968.55147	116969.2268
20.79006786	321.0000916	5.07354784	5.970206105	64352.21921	24457.94977	88810.16897
20.79000196	321.0003713	5.517061871	6.622126242	76094.92922	30090.97859	106185.9078
20.7900191	321.0036092	6.599423386	7.509634877	108880.9726	38697.15561	147578.1282
20.79006786	321.0000916	5.576599081	6.608208288	77746.14327	29964.62499	107710.7683
20.79003724	321.0070379	7.296563536	8.61524131	133099.5986	50930.30687	184029.9055
20.79002859	321.0054031	6.54537026	7.523302028	107104.6796	38838.13747	145942.8171
20.79002953	321.0055819	6.510072999	7.460757945	105952.6261	38195.06912	144147.6953
20.79001827	321.0034538	6.492177116	7.479395725	105370.9093	38386.13831	143757.0476
20.79001702	321.003217	6.64930788	7.54135732	110533.2382	39024.77769	149558.0159
20.79002181	321.004122	6.526998546	7.518812839	106504.2751	38791.80151	145296.0766
20.7900337	321.0063698	6.718603946	7.729333072	112849.0974	40994.48594	153843.5834
20.79002023	321.0038244	7.067540931	8.314131179	124875.337	47432.40495	172307.742
20.7900432	321.0081657	6.339809193	7.304751763	100482.9515	36614.43391	137097.3854
20.79002693	321.0050896	6.872144165	8.171481368	118065.9136	45818.72393	163884.6375
20.79003644	321.0068877	6.647009331	7.757945886	110456.8326	41298.5584	151755.391
20.79004031	321.0076181	6.435428162	7.399246729	103536.8391	37567.85669	141104.6958

Maximo Impacto

## Perfil 5


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C14. VELOCIDAD TRASLACIONAL EN EL PERFIL 5 CORRIDA EN EL PROGRAMA

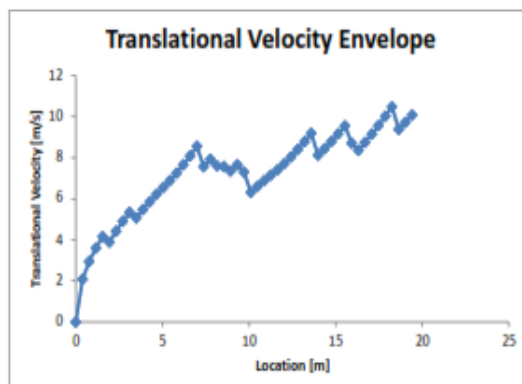


TABLA C23

RESULTADOS DE LA VELOCIDAD TRASLACIONAL OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA EL PERFIL 5

Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)
0	0	6.6028	8.08931043	13.2056	8.782776723
0.3884	2.080357733	6.9912	8.55452879	13.594	9.185981849
0.7768	2.942116331	7.3796	7.561456047	13.9824	8.121763855
1.1652	3.603360753	7.768	7.92920639	14.3708	8.443764707
1.5536	4.160813493	8.1564	7.600552255	14.7592	8.789884693
1.942	3.886231984	8.5448	7.562745499	15.1476	9.157389342
2.3304	4.425347744	8.9332	7.351897741	15.536	9.543808589
2.7188	4.905568905	9.3216	7.65762727	15.9244	8.705546466
3.1072	5.342799819	9.71	7.297058911	16.3128	8.361717857
3.4956	5.067841339	10.0984	6.309597091	16.7012	8.745502684
3.884	5.476013524	10.4868	6.601672904	17.0896	9.147289322
4.2724	5.855803309	10.8752	6.88136286	17.478	9.568059453
4.6608	6.212418263	11.2636	7.150120593	17.8664	10.01392907
5.0492	6.549644949	11.652	7.416651172	18.2548	10.47855136
5.4376	6.879150736	12.0404	7.714391629	18.6432	9.376506215
5.826	7.246262433	12.4288	8.043752532	19.0316	9.718884802
6.2144	7.65156163	12.8172	8.401015676	19.42	10.07708091

TABLA C24

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA VELOCIDAD TRASLACIONAL EXACTA EN CADA COTA PARA EL PERFIL 5

Cota (msnm)	Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	
	15.1476	9.157389342	
324	15.3	X	X= 9.3090 m/s
	15.536	9.543808589	
	16.3128	8.361717857	
323	16.48	X	X= 8.5269 m/s
	16.7012	8.745502684	
	17.0896	9.147289322	
322	17.42	X	X= 9.5051 m/s
	17.478	9.568059453	
	18.2548	10.47855136	
321	18.32	X	X= 10.2935 m/s
	18.6432	9.376506215	
320	19.42	10.07708091	X= 10.0771 m/s


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C13. ENERGIA CINETICA EN EL PERFIL 5 CORRIDA EN EL PROGRAMA

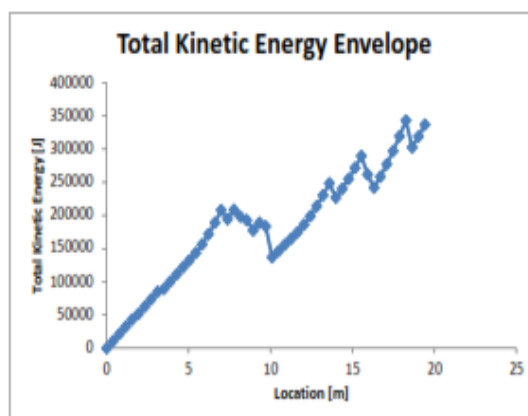


TABLA C21

RESULTADOS DE LA ENERGIA CINETICA OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA EL PERFIL 5

Longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)
0	0	6.6028	188939.0837	13.2056	230312.4625
0.3884	10819.9172	6.9912	208296.6326	13.594	248425.2014
0.7768	21640.31772	7.3796	194312.3681	13.9824	226852.3453
1.1652	32460.71824	7.768	208554.1091	14.3708	240187.6311
1.5536	43281.11876	8.1564	198322.1486	14.7592	255099.9073
1.942	51527.84799	8.5448	192855.0649	15.1476	271589.1739
2.3304	62730.10705	8.9332	177530.1042	15.536	289655.4309
2.7188	73932.36611	9.3216	189002.2417	15.9244	261614.3104
3.1072	85134.62517	9.71	183437.4785	16.3128	241754.6366
3.4956	89554.26519	10.0984	136997.0837	16.7012	258474.2217
3.884	100313.5359	10.4868	146424.7579	17.0896	276964.7001
4.2724	111072.8066	10.8752	155852.4321	17.478	297226.0717
4.6608	121832.0773	11.2636	165280.1063	17.8664	319258.3365
5.0492	132591.348	11.652	174986.3316	18.2548	343061.4946
5.4376	143653.5127	12.0404	186249.1406	18.6432	302626.7316
5.826	156617.5237	12.4288	199224.432	19.0316	318971.3641
6.2144	171712.714	12.8172	213912.206	19.42	336698.4587

TABLA C22

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA ENERGIA EXACTA EN CADA COTA PARA EL PERFIL 5

Cota (msnm)	Longitud (m)	Energía cinética en la cota (J)	
	15.1476	271589.1739	
324	15.3	X	X= 278677.9936 J
	15.536	289655.4309	
	16.3128	241754.6366	
323	16.48	X	X= 248952.1511 J
	16.7012	258474.2217	
	17.0896	276964.7001	
322	17.42	X	X= 294200.4291 J
	17.478	297226.0717	
	18.2548	343061.4946	
321	18.32	X	X= 336289.0606 J
	18.6432	302626.7316	
320	19.42	336698.4587	X= 336698.4587 J




PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C15. ENERGIA DE IMPACTO DE LAS ROCAS SOBRE LA BARRERA RXE-500-LA EN EL PERFIL 5

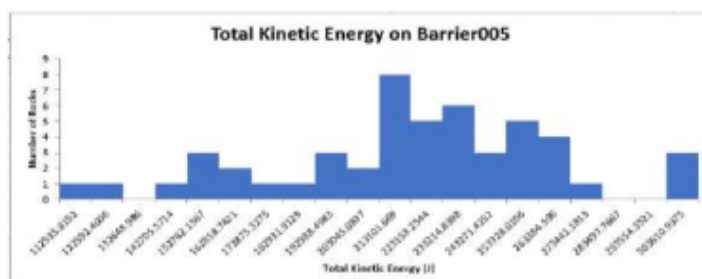


TABLA C25

RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCCALL PARA LOS IMPACTOS SOBRE LA BARRERA EN EL PERFIL 5

Coordenada (X)	Coordenada (Y)	Velocidad Traslacional (m/s)	Velocidad Rotacional (rad/s)	Energía Traslacional (J)	Energía Rotacional (J)	Energía Total (J)
18.32008971	321.0081306	10.2469917	8.339278262	262502.0975	47719.76882	310221.8663
18.32003434	321.0031123	7.940652192	9.506968494	157634.8931	62019.10713	219654.0002
18.32005196	321.0047093	8.087631271	9.212599801	163524.4489	58237.91409	221762.363
18.32010267	321.0093054	7.981544234	9.069950248	159262.6209	56448.34453	215710.9654
18.32001501	321.0013606	7.455530729	8.839249327	138962.3461	53613.25417	192575.6003
18.32007519	321.0068152	8.092198567	9.179018175	163709.1941	57814.11204	221523.3062
18.32015417	321.0139738	8.24511212	9.544971359	169954.6847	62515.92469	232470.6094
18.32000496	321.0004497	7.5519451	8.977591454	142579.687	55304.57715	197884.2641
18.32005847	321.0052995	8.114138227	9.30495213	164598.0979	59411.38635	224009.4843
18.32008946	321.0081086	8.294252794	9.774404858	171986.5735	65557.44926	237544.0228
18.32000315	321.0002855	8.027460718	9.001847259	161100.3139	55603.8265	216704.1404
18.32007312	321.006627	8.283041953	9.349736285	171521.96	59984.64918	231506.6092
18.3200949	321.0086012	8.803968943	10.34894384	193774.6729	73490.88219	267265.5551
18.32006083	321.0055131	8.701381272	10.01358409	189285.0901	68805.07917	258090.1693
18.32009077	321.0082274	8.069766047	9.132593594	162802.8101	57230.77983	220033.59
18.32006975	321.0063214	8.422136113	10.01779524	177330.9418	68862.96235	246193.9041
18.32000615	321.0005577	7.483113922	8.965471222	139992.4849	55155.34963	195147.8345
18.32009398	321.0085176	8.386327025	9.829929958	175826.2024	66304.38434	242130.5868
18.32003153	321.0028576	8.467010619	9.596805067	179225.6721	63196.75035	242422.4224
18.32010316	321.0093504	8.46379984	10.01837741	179089.7693	68870.96642	247960.7357
18.32007199	321.0065248	8.361428832	9.844859721	174783.7303	66505.94437	241289.6746
18.32000842	321.000763	7.60931161	9.04692412	144754.0579	56162.09447	200916.1524
18.32006643	321.0060212	8.492534846	10.08825668	180307.8703	69835.08202	250142.9523
18.32005329	321.0048298	8.621050718	10.26548564	185806.2887	72310.33942	258116.6281
18.32015708	321.0142374	10.28780517	8.456451204	264597.338	49070.18492	313667.5229
18.32002996	321.0027152	8.546285063	10.249669	182597.4709	72087.6854	254685.1563
18.32008474	321.0000763	6.137482527	7.291450747	94171.72942	36481.21493	130652.9444
18.32006977	321.0063239	8.758495452	10.43590881	191778.1065	74731.19924	266509.3057
18.32000473	321.0000763	6.810774269	7.663344241	115966.6154	40297.49681	156264.1122
18.32008474	321.0000763	6.954475919	8.328156164	120911.8383	47592.56597	168504.4042
18.32008474	321.0000763	7.056988571	8.516466168	124502.7192	49769.15317	174271.8724
18.32010802	321.0097904	7.969021671	9.239400001	158763.266	58577.24458	217340.5106
18.32008996	321.0081534	8.686173516	10.27954217	188624.0259	72508.50401	261132.5299
18.32008375	321.0075905	8.210718307	9.399861249	168539.7378	60629.54182	229169.2796
18.32008474	321.0000763	6.562849918	7.715101272	107677.4976	40843.66097	148521.1586
18.32008474	321.0000763	6.746317059	7.874986803	113781.9846	42554.06666	156336.0513
18.32006711	321.006083	8.219093209	9.785792507	168883.7329	65710.29337	234594.0263
18.32008474	321.0000763	6.638678789	7.889568172	110180.1401	42711.79924	152891.9394
18.32009032	321.0081859	10.24735611	8.258712223	262520.768	46802.1783	309322.9463
18.32010279	321.0093162	7.984619197	9.316666514	159385.3593	59561.07134	218946.4307
18.32008474	321.0000763	7.049060362	8.052592258	124223.13	44495.1647	168718.2947
18.32008656	321.0078451	8.216610906	9.278639409	168781.737	59075.85213	227857.5891
18.32010962	321.0099355	7.863482709	9.025059906	154585.9008	55890.96227	210476.863
18.32010774	321.0097654	8.369864275	9.813643418	175136.5699	66084.85593	241221.4259
18.32009345	321.0084695	8.765429831	10.25363817	192081.9003	72143.52792	264225.4282
18.32008474	321.0000763	5.730157025	6.661411193	82086.74882	30449.0664	112535.8152
18.32010186	321.0092322	7.86484508	8.916841537	154639.4703	54558.6352	209198.1055
18.32010054	321.0091129	8.756520327	10.32528636	191691.6206	73155.26885	264846.8894
18.32005895	321.0053431	8.627278428	10.31241912	186074.8327	72973.05215	259047.8848
18.32008613	321.0078066	8.956344751	10.60775629	200540.2782	77212.6516	277752.9298

Máximo Impacto

## Perfil 6


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C16. ENERGIA CINETICA EN EL PERFIL 6 CORRIDA EN EL PROGRAMA

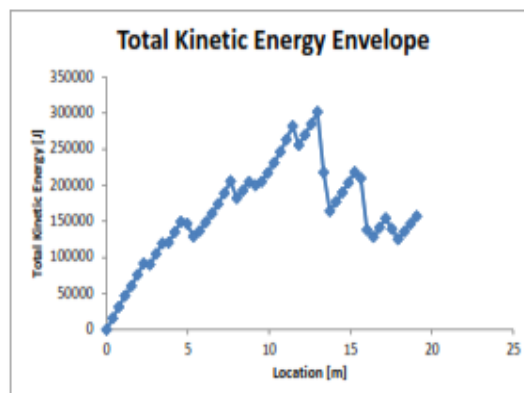


TABLA C26

RESULTADOS DE LA ENERGIA CINETICA OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA EL PERFIL 6

Longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)
0	0	6.4838	160939.7261	12.9676	301745.9228
0.3814	15714.97621	6.8652	173958.2208	13.349	217943.3233
0.7628	31429.37031	7.2466	188952.9536	13.7304	164209.1292
1.1442	47143.76441	7.628	205922.2249	14.1118	177105.6155
1.5256	60330.89597	8.0094	182111.1958	14.4932	190002.1019
1.907	76045.27466	8.3908	192658.0633	14.8746	203423.0333
2.2884	91759.65334	8.7722	204887.2318	15.256	218564.3096
2.6698	90243.91062	9.1536	200166.4603	15.6374	209725.9692
3.0512	104968.4769	9.535	205002.5605	16.0188	138332.8999
3.4326	119693.0431	9.9164	217188.3431	16.4002	128482.1249
3.814	120557.9443	10.2978	230993.4628	16.7816	141378.9064
4.1954	135054.2707	10.6792	246417.9197	17.163	154275.6879
4.5768	149550.5972	11.0606	263461.7136	17.5444	139715.789
4.9582	146978.6926	11.442	282124.8446	17.9258	125476.3281
5.3396	129014.5399	11.8234	255806.1733	18.3072	136041.5899
5.721	136810.3453	12.2048	269713.4087	18.6886	146606.8517
6.1024	148875.0357	12.5862	285026.6586	19.07	157172.1135

TABLA C27

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA ENERGIA EXACTA EN CADA COTA PARA EL PERFIL 6

Cota (msnm)	Longitud (m)	Energía cinética en la cota (J)	
	12.9676	301745.9228	
324	13.13	X	X= 266062.8023 J
	13.349	217943.3233	
	14.4932	190002.1019	
323	14.58	X	X= 193056.4722 J
	14.8746	203423.0333	
	15.6374	209725.9692	
322	15.85	X	X= 169930.0392 J
	16.0188	138332.8999	
	17.163	154275.6879	
321	17.3	X	X= 149045.7294 J
	17.5444	139715.789	
320	19.07	157172.1135	X= 157172.1135 J


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C17. VELOCIDAD TRASLACIONAL EN EL PERFIL 6 CORRIDA EN EL PROGRAMA

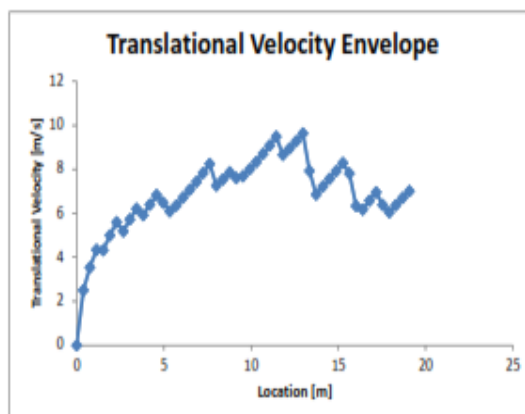


TABLA C28

RESULTADOS DE LA VELOCIDAD TRASLACIONAL OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA EL PERFIL 6

Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)
0	0	6.4838	7.077520254	12.9676	9.639791184
0.3814	2.507146143	6.8652	7.436308953	13.349	7.931972078
0.7628	3.545636674	7.2466	7.829213497	13.7304	6.857989387
1.1442	4.342498942	7.628	8.251320652	14.1118	7.224307093
1.5256	4.327788937	8.0094	7.26481787	14.4932	7.572925954
1.907	5.001550615	8.3908	7.549591093	14.8746	7.919443168
2.2884	5.594752902	8.7722	7.866892212	15.256	8.293014567
2.6698	5.180260548	9.1536	7.61003273	15.6374	7.816546656
3.0512	5.720570412	9.535	7.692790044	16.0188	6.338004618
3.4326	6.214076949	9.9164	8.003332538	16.4002	6.177709041
3.814	5.925695633	10.2978	8.341185743	16.7816	6.582005894
4.1954	6.396280114	10.6792	8.703169671	17.163	6.962866807
4.5768	6.834539477	11.0606	9.086400821	17.5444	6.379115854
4.9582	6.485926589	11.442	9.488305027	17.9258	6.045637414
5.3396	6.094161314	11.8234	8.658639241	18.3072	6.385596014
5.721	6.35920912	12.2048	8.950562464	18.6886	6.708348617
6.1024	6.727957847	12.5862	9.286434642	19.07	7.016270084

TABLA C29

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA VELOCIDAD TRASLACIONAL EXACTA EN CADA COTA PARA EL PERFIL 6

Cota (msnm)	Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	
	12.9676	9.639791184	
324	13.13	X	X= 8.9126 m/s
	13.349	7.931972078	
	14.4932	7.572925954	
323	14.58	X	X= 7.6517 m/s
	14.8746	7.919443168	
	15.6374	7.816546656	
322	15.85	X	X= 6.9923 m/s
	16.0188	6.338004618	
	17.163	6.962866807	
321	17.3	X	X= 6.7530 m/s
	17.5444	6.379115854	
320	19.07	7.016270084	X= 7.0162 m/s




PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARPATO, PROVINCIA DE MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C18. ENERGIA DE IMPACTO DE LAS ROCAS SOBRE LA BARRERA RXE-500-LA EN EL PERFIL 6

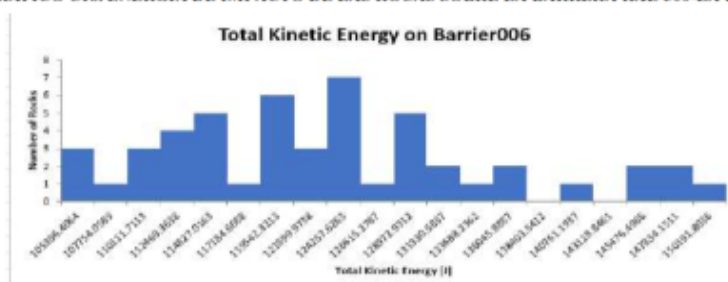


TABLA C30

RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA LOS IMPACTOS SOBRE LA BARRERA EN EL PERFIL 6

Coordenada (X)	Coordenada (Y)	Velocidad Traslacional (m/s)	Velocidad Rotacional (rad/s)	Energía Traslacional (J)	Energía Rotacional (J)	Energía Total (J)
17.30006472	321.0000938	6.165516886	5.396816844	95033.99617	19985.58012	115019.5763
17.30006472	321.0000938	6.39422889	5.859396153	102215.4077	23558.47225	125773.88
17.30006472	321.0000938	6.244113476	5.695962582	97472.38276	22262.58833	119734.9711
17.30006472	321.0000938	6.1071486	5.436853513	93243.16006	20283.20891	113526.369
17.30006472	321.0000938	6.116330249	5.500161501	93523.7393	20758.32389	114282.0632
17.30006472	321.0000938	6.065060687	5.433094484	91962.40285	20255.17107	112217.5739
17.30006472	321.0000938	6.360589472	5.899153987	101142.7461	23879.26009	125022.0062
17.30006472	321.0000938	6.45987398	5.885071227	104324.9296	23765.38461	128090.3142
17.30006472	321.0000938	6.268264128	5.670410096	98227.83796	22063.2933	120291.1313
17.30006472	321.0000938	6.310388504	5.768288099	99552.50767	22831.54425	122384.0519
17.30006472	321.0000938	6.492060655	5.938434324	105367.1289	24198.32558	129565.4545
17.30006472	321.0000938	6.312913218	5.782378746	99632.18326	22943.22527	122575.4085
17.30006472	321.0000938	6.832907631	6.501102122	116721.5667	29001.16048	145722.7272
17.30006472	321.0000938	6.265619118	5.703697491	98144.95734	22323.09295	120468.0503
17.30006472	321.0000938	6.926943693	6.618641024	119956.3723	30059.31323	150015.6855
17.30006472	321.0000938	6.283251292	5.644197064	98698.117	21859.7775	120557.8945
17.30006472	321.0000938	6.129071516	5.45229362	93913.79413	20398.57697	114312.3711
17.30006472	321.0000938	6.537307866	6.131096403	106840.9853	25793.94028	132634.9256
17.30006472	321.0000938	6.860265174	6.682950822	117658.0957	30646.29169	148304.3873
17.30006472	321.0000938	6.445570049	6.114253696	103863.4331	25652.4181	129515.8512
17.30006472	321.0000938	6.809419409	6.578878604	115920.4817	29699.22699	145619.7087
17.30006472	321.0000938	6.061515096	5.307093174	91854.91315	19326.57182	111181.485
17.30006472	321.0000938	6.531962325	6.126423961	106666.3295	25754.6407	132420.9702
17.30006472	321.0000938	6.523207238	5.981617239	106380.5817	24551.53436	130932.116
17.30006472	321.0000938	6.475025196	6.079290688	104814.8782	25359.88153	130174.7598
17.30006472	321.0000938	6.399208229	5.80508948	102374.6649	23123.80173	125498.4666
17.30006472	321.0000938	6.386008743	5.958867826	101952.7692	24365.13966	126317.9088
17.30006472	321.0000938	6.493786341	5.938626511	105423.1526	24199.89188	129623.0445
17.30006472	321.0000938	6.629594835	6.427184009	109878.8192	28345.41814	138224.2373
17.30006472	321.0000938	5.914137517	5.115146721	87442.55643	17953.84994	105396.4064
17.30006472	321.0000938	6.169430348	5.484914047	95154.67704	20643.39167	115798.0687
17.30006472	321.0000938	6.352158466	5.907364976	100874.7929	23945.78108	124820.574
17.30006472	321.0000938	6.260403344	5.733092512	97981.62506	22553.77793	120535.403
17.30006472	321.0000938	6.932400433	6.871929944	120145.4394	32404.01668	152549.4561
17.30006472	321.0000938	6.078155059	5.320536706	92359.92232	19424.60909	111784.5314
17.30006472	321.0000938	6.345914581	5.90284163	100676.5797	23909.12393	124585.7036
17.30006472	321.0000938	6.210773426	5.738001727	96434.26636	22592.41981	119026.6862
17.30006472	321.0000938	6.562052835	6.279563251	107651.3435	27058.28574	134709.6292
17.30006472	321.0000938	5.999455991	5.253135307	89983.68048	18935.57837	108919.2588
17.30006472	321.0000938	6.162566973	5.475016571	94943.07925	20568.95728	115512.0365
17.30006472	321.0000938	5.93330634	5.080191279	88010.3103	17709.30548	105719.6158
17.30006472	321.0000938	6.415907027	5.846406993	102909.6574	23454.13878	126363.7962
17.30006472	321.0000938	6.118812884	5.410038583	93599.67778	20083.62599	113683.3038
17.30006472	321.0000938	6.168333812	5.495301986	95120.85504	20721.65921	115842.5142
17.30006472	321.0000938	6.639969003	6.38247987	110222.9709	27952.47757	138175.4485
17.30006472	321.0000938	6.754960759	6.401461685	114073.7371	28118.98895	142192.7261
17.30006472	321.0000938	6.138124359	5.485807285	94191.42663	20650.11592	114841.5425
17.30006472	321.0000938	6.314019359	5.825744639	99667.10117	23288.64864	122955.7498
17.30006472	321.0000938	5.948423483	5.148344079	88459.35483	18187.64752	106647.0023
17.30006472	321.0000938	6.268268825	5.579765894	98227.98516	21363.54678	119591.5319

Maximo Impacto

## Perfil 7


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C17. ENERGIA CINETICA EN EL PERFIL 7 CORRIDA EN EL PROGRAMA

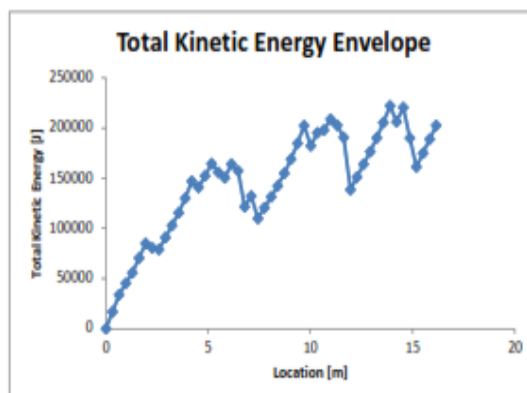


TABLA C31

RESULTADOS DE LA ENERGIA CINETICA OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCKFALL PARA EL PERFIL 7

Longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)
0	0	5.4944	155847.6181	10.9888	208793.1838
0.3232	16859.41534	5.8176	150410.8805	11.312	202830.3706
0.6464	33717.0175	6.1408	164069.4179	11.6352	190551.1863
0.9696	45303.40282	6.464	157299.6292	11.9584	138516.1764
1.2928	55756.8188	6.7872	121555.4837	12.2816	151193.3353
1.616	70429.33885	7.1104	132271.7423	12.6048	163870.4943
1.9392	85101.8589	7.4336	109861.9375	12.928	176561.6058
2.2624	80497.4733	7.7568	120641.8917	13.2512	190219.2929
2.5856	78954.61466	8.08	131421.8459	13.5744	205388.0986
2.9088	90959.56248	8.4032	142391.8295	13.8976	222068.023
3.232	102964.5103	8.7264	154836.7893	14.2208	206266.2012
3.5552	115466.0029	9.0496	168990.8231	14.544	220552.3496
3.8784	130095.1506	9.3728	184853.931	14.8672	190091.5521
4.2016	146974.9559	9.696	202426.1129	15.1904	161275.5168
4.5248	140897.4155	10.0192	182320.0372	15.5136	175055.0907
4.848	152328.0171	10.3424	195297.2109	15.8368	188834.6647
5.1712	164504.2984	10.6656	197947.7471	16.16	202614.2386

TABLA C32

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA ENERGIA EXACTA EN CADA COTA PARA EL PERFIL 7

Cota (msnm)	Longitud (m)	Energía cinética en la cota (J)	
	11.312	202830.3706	
324	11.63	X	X= 190748.7493 J
	11.6352	190551.1863	
	12.6048	163870.4943	
323	12.88	X	X= 174676.7906 J
	12.928	176561.6058	
	13.5744	205388.0986	
322	13.89	X	X=221675.7970 J
	13.8976	222068.023	
	14.8672	190091.5521	
321	15.01	X	X= 177359.7147 J
	15.1904	161275.5168	
320	16.16	202614.2386	X= 202614.2386 m/s


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C20. VELOCIDAD TRASLACIONAL EN EL PERFIL 7 CORRIDA EN EL PROGRAMA

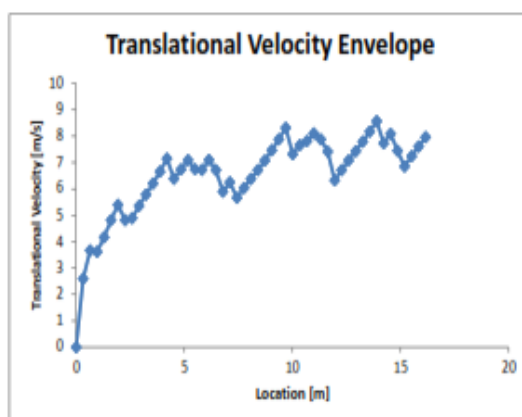


TABLA C33

RESULTADOS DE LA ENERGIA CINETICA OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA EL PERFIL 7

Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)
0	0	5.4944	6.748917961	10.9888	8.109147577
0.3232	2.596812563	5.8176	6.721645107	11.312	7.87888656
0.6464	3.672393818	6.1408	7.100942206	11.6352	7.418180871
0.9696	3.617908327	6.464	6.714452678	11.9584	6.328776675
1.2928	4.16622991	6.7872	5.896652064	12.2816	6.717460665
1.616	4.81938582	7.1104	6.249560703	12.6048	7.084852953
1.9392	5.394023332	7.4336	5.665523576	12.928	7.434486263
2.2624	4.815586897	7.7568	6.034081461	13.2512	7.793244563
2.5856	4.89053468	8.08	6.381388623	13.5744	8.173260249
2.9088	5.359039895	8.4032	6.716406345	13.8976	8.571706531
3.232	5.789757138	8.7264	7.077294547	14.2208	7.730308474
3.5552	6.206600096	9.0496	7.466572951	14.544	8.091484936
3.8784	6.661347	9.3728	7.880035202	14.8672	7.444702924
4.2016	7.150207408	9.696	8.314074064	15.1904	6.850393191
4.5248	6.390793817	10.0192	7.319722316	15.5136	7.241527218
4.848	6.739027098	10.3424	7.666107504	15.8368	7.612591282
5.1712	7.089755438	10.6656	7.815443307	16.16	7.966390375

TABLA C34

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA VELOCIDAD TRASLACIONAL EXACTA EN CADA COTA PARA EL PERFIL 7

Cota (msnm)	Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	
	11.312	7.87888656	
324	11.63	X	X= 7.4255 m/s
	11.6352	7.418180871	
	12.6048	7.084852953	
323	12.88	X	X=7.3825 m/s
	12.928	7.434486263	
	13.5744	8.173260249	
322	13.89	X	X= 8.5622 m/s
	13.8976	8.571706531	
	14.8672	7.444702924	
321	15.01	X	X= 7.1821 m/s
	15.1904	6.850393191	
320	16.16	7.966390375	X= 7.9663 m/s




PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C21. ENERGIA DE IMPACTO DE LAS ROCAS SOBRE LA BARRERA RXE-500-LA EN EL PERFIL 7

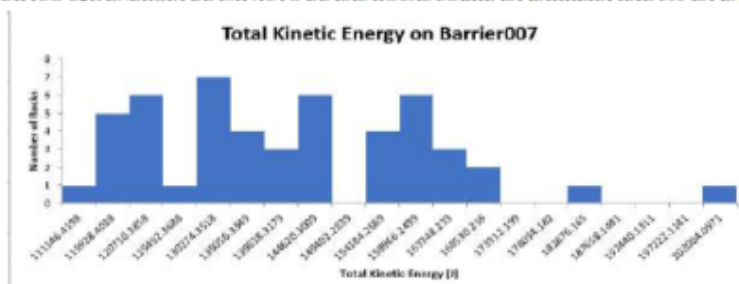


TABLA C35

RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA LOS IMPACTOS SOBRE LA BARRERA EN EL PERFIL 7

Coordenada (X)	Coordenada (Y)	Velocidad Traslacional (m/s)	Velocidad Rotacional (rad/s)	Energía Traslacional (J)	Energía Rotacional (J)	Energía Total (J)
15.01007593	321.000085	6.588371666	6.4871798	108516.603	28877.07962	137393.6826
15.01007593	321.000085	6.584276872	7.698992244	108381.7548	40673.277	149055.0318
15.01007593	321.000085	6.100218532	7.175137852	93031.66533	35326.60472	128358.2701
15.01007593	321.000085	6.30211968	7.16281993	99291.78117	35205.4149	134497.1961
15.01007593	321.000085	6.895350306	7.901462973	118864.6396	42840.68623	161705.3258
15.01007593	321.000085	6.802533318	8.10236994	115686.1488	45046.9651	160733.1139
15.01007593	321.000085	6.689866802	7.126567419	111885.7946	34849.95296	146735.7475
15.01007593	321.000085	6.024889064	5.452243132	90748.22057	20398.19919	111146.4198
15.01007593	321.000085	7.221962634	7.235927514	130391.8607	35927.73308	166319.5938
15.01007593	321.000085	6.599422366	7.401585023	108880.9389	37591.60467	146472.5436
15.01007593	321.000085	5.900811577	6.705890853	87048.94318	30857.04694	117905.9901
15.01007593	321.000085	6.060601182	6.867822656	91827.21671	32365.2931	124192.5098
15.01007593	321.000085	5.911832825	7.04130586	87374.41837	34021.05831	121395.4767
15.01007593	321.000085	6.44546942	7.646558553	103860.1901	40121.15595	143981.3461
15.01007593	321.000085	6.544815827	6.349299719	107086.5355	27662.60383	134749.1393
15.01007593	321.000085	6.250684648	5.85143426	97677.64642	23494.49208	121172.1385
15.01007593	321.000085	6.569926173	7.576975849	107909.8248	39394.28352	147304.1083
15.01007593	321.000085	6.251681156	7.072866804	97708.79318	34326.72409	132035.5173
15.01007593	321.000085	7.244173867	7.045803451	131195.1375	34064.53369	165259.6712
15.01007593	321.000085	7.073617365	6.903771141	125090.1566	32705.00143	157795.158
15.01000107	321.0002018	6.835112342	8.141651263	116796.9018	45484.81076	162281.7126
15.01007593	321.000085	6.695619222	6.380760381	112078.2919	27937.41838	140015.7103
15.01007593	321.000085	6.747683974	8.0748605	113828.0975	44741.59443	158569.6919
15.01007593	321.000085	6.752494661	6.583888784	113990.4604	29744.47942	143734.9398
15.01007593	321.000085	6.046572637	6.571045719	91402.60164	29628.54864	121031.1503
15.01007593	321.000085	7.055767353	6.860266403	124459.6323	32294.1131	156753.7455
15.01007593	321.000085	6.713720081	7.894294235	112685.0933	42762.9856	155448.0789
15.01007593	321.000085	7.403927978	8.433167386	137045.3738	48800.33926	185845.713
15.01000022	321.0000419	6.957886694	8.365436067	121030.4681	48019.60343	169050.0716
15.01001199	321.0022576	7.741339733	9.11138126	149820.8521	56965.22798	206786.0801
15.01007593	321.000085	7.133143686	7.040815261	127204.3471	34016.31769	161220.6648
15.01007593	321.000085	6.54317737	6.36274997	107032.9252	27779.92798	134812.8532
15.01007593	321.000085	6.655451518	6.323482725	110737.5873	27438.10243	138175.6897
15.01000055	321.0001036	6.95202311	8.345916899	120826.5633	47795.77548	168622.3388
15.01007593	321.000085	6.905054391	7.750906711	119199.4404	41223.64787	160423.0882
15.01007593	321.000085	6.561367053	7.408475249	107628.844	37661.62622	145290.4702
15.01007593	321.000085	6.252598165	7.083200543	97737.45952	34427.10278	132164.5623
15.01007593	321.000085	7.183542172	7.022602711	129008.1953	33840.56457	162848.7599
15.01007593	321.000085	6.223810709	7.219497546	96839.54934	35764.76258	132604.3119
15.01007593	321.000085	6.196696977	5.881603258	95997.63357	23737.38381	119735.0174
15.01007593	321.000085	6.111190232	5.794259324	93366.61512	23037.60124	116404.2164
15.01007593	321.000085	7.267103717	7.014777003	132026.9911	33765.18544	165792.1765
15.01000003	321.0000056	6.530356217	7.843686573	106613.8808	42216.4648	148830.3456
15.01007593	321.000085	6.147285922	5.730527825	94472.81052	22533.60366	117006.4142
15.01007593	321.000085	6.044654212	6.954633339	91344.61135	33188.67211	124533.2835
15.01007593	321.000085	6.280263084	7.579394847	98604.26102	39419.44128	138023.7023
15.01007593	321.000085	5.98430887	6.559135374	89529.88163	29521.23956	119051.1212
15.01007593	321.000085	6.453441629	6.217454947	104117.2722	26525.69026	130642.9624
15.01007593	321.000085	6.573584662	6.486363958	108030.0383	28869.81679	136899.8551
15.01007593	321.000085	6.03327011	6.727089618	91000.87054	31052.44684	122053.3174

Maximo Impacto

## Perfil 8


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C22. ENERGIA CINETICA EN EL PERFIL 8 CORRIDA EN EL PROGRAMA

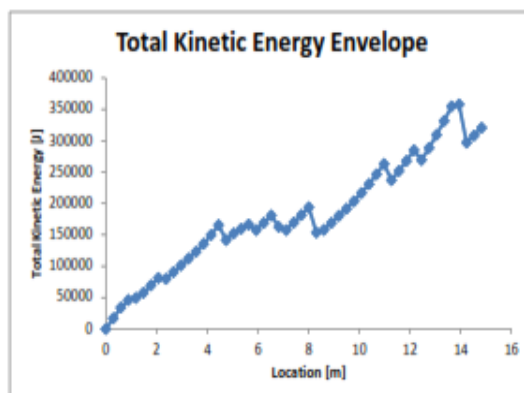


TABLA C36

RESULTADOS DE LA ENERGIA CINETICA OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA EL PERFIL 8

Longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)
0	0	5.0422	152217.8121	10.0844	216738.0194
0.2966	17110.45699	5.3388	159829.8192	10.381	230974.7488
0.5932	34218.42851	5.6354	166488.0098	10.6776	246348.8801
0.8898	46342.79654	5.932	157670.4392	10.9742	262860.4134
1.1864	49380.34443	6.2286	169098.3983	11.2708	237039.7163
1.483	57703.2557	6.5252	180903.9269	11.5674	251783.1517
1.7796	69721.51543	6.8218	162788.0063	11.864	267720.4397
2.0762	81436.38779	7.1184	157499.2829	12.1606	284851.5804
2.3728	79839.19163	7.415	169617.9115	12.4572	269192.6271
2.6694	90611.39552	7.7116	181736.5401	12.7538	288575.4793
2.966	101383.5994	8.0082	193855.1687	13.0504	309302.4252
3.2626	112155.8033	8.3048	153562.4189	13.347	331373.4647
3.5592	123139.3726	8.6014	157853.5528	13.6436	354788.5978
3.8558	135606.1828	8.898	169126.7306	13.9402	357781.5834
4.1524	149762.2771	9.1946	180399.9085	14.2368	297033.4283
4.449	165607.6554	9.4912	191676.7666	14.5334	308488.6493
4.7456	141744.2603	9.7878	203638.692	14.83	320750.8358

TABLA C37

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA ENERGIA EXACTA EN CADA COTA EN EL PERFIL 8

Cota (msnm)	Longitud (m)	Energía cinética en la cota (J)	
	11.2708	237039.7163	
324	11.49	X	X= 247935.7414 J
	11.5674	251783.1517	
	12.1606	284851.5804	
323	12.37	X	X= 273796.3382 J
	12.4572	269192.6271	
	13.0504	309302.4252	
322	13.1	X	X= 312993.3340 J
	13.347	331373.4647	
	13.6436	354788.5978	
321	13.73	X	X= 355660.4587 J
	13.9402	357781.5834	
320	14.83	320750.8358	X= 320750.8358 J




PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C23. VELOCIDAD TRASLACIONAL EN EL PERFIL 8 CORRIDA EN EL PROGRAMA

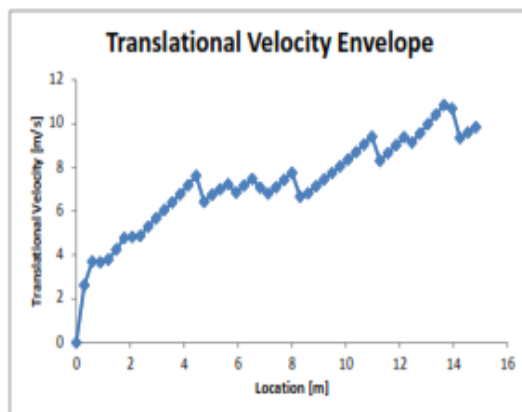


TABLA C38

RESULTADOS DE LA ENERGIA KINETICA OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA EL PERFIL 8

Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)
0	0	5.0422	6.751932289	10.0844	8.369025014
0.2966	2.616062585	5.3388	7.006700154	10.381	8.702601417
0.5932	3.699590796	5.6354	7.237084386	10.6776	9.049028896
0.8898	3.664380646	5.932	6.851053785	10.9742	9.406887758
1.1864	3.795283501	6.2286	7.182069916	11.2708	8.304112999
1.483	4.247065226	6.5252	7.471975771	11.5674	8.651916948
1.7796	4.779632261	6.8218	7.078186775	11.864	9.012801012
2.0762	4.829965582	7.1184	6.806576953	12.1606	9.385256435
2.3728	4.869583565	7.415	7.099101019	12.4572	9.141428392
2.6694	5.293555106	7.7116	7.432676955	12.7538	9.556089888
2.966	5.686000986	8.0082	7.751911904	13.0504	9.980462529
3.2626	6.053056151	8.3048	6.667226543	13.347	10.41335912
3.5592	6.405694069	8.6014	6.818122398	13.6436	10.85375978
3.8558	6.783777751	8.898	7.14115286	13.9402	10.69589867
4.1524	7.189024848	9.1946	7.450190287	14.2368	9.348164202
4.449	7.617101128	9.4912	7.74700449	14.5334	9.59011274
4.7456	6.434218595	9.7878	8.049897436	14.83	9.84191017

TABLA C39

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA VELOCIDAD TRASLACIONAL EXACTA EN CADA COTA PARA EL PERFIL 8

Cota (msnm)	Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	
	11.2708	8.304112999	
324	11.49	X	X= 8.5611 m/s
	11.5674	8.651916948	
	12.1606	9.385256435	
323	12.37	X	X= 9.2131 m/s
	12.4572	9.141428392	
	13.0504	9.980462529	
322	13.1	X	X= 9.9080 m/s
	13.347	10.41335912	
	13.6436	10.85375978	
321	13.73	X	X= 10.8016 m/s
	13.9402	10.69589867	
320	14.83	9.84191017	X= 9.8419 m/s


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARPOTO, PROVINCIA DE MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C24. ENERGIA DE IMPACTO DE LAS ROCAS SOBRE LA BARRERA RXE-500-LA EN EL PERFIL 8

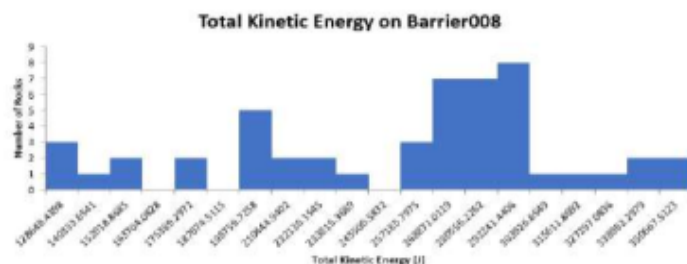


TABLA C40

RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCCALL PARA LOS IMPACTOS SOBRE LA BARRERA EN EL PERFIL 8

Coordenada (X)	Coordenada (Y)	Velocidad Traslacional (m/s)	Velocidad Rotacional (rad/s)	Energía Traslacional (J)	Energía Rotacional (J)	Energía Total (J)
13.73009645	321.0000608	6.457673207	7.048981076	104253.8581	34095.26651	138349.1246
13.73011127	321.0557668	9.864950338	8.906298137	243293.1129	54429.68967	297722.8026
13.73013851	321.0694164	9.764435328	8.835232709	238360.4932	53564.54075	291925.0339
13.73009645	321.0000608	7.366569033	7.805230362	135665.8483	41803.51984	177469.3681
13.73001005	321.0050371	7.733373034	9.081566033	149512.6462	56593.02266	206105.6689
13.73000345	321.0017304	6.667115361	7.969548147	111126.0681	43582.1647	154708.2328
13.73000939	321.0047073	8.011075434	9.388015002	160443.324	60476.82043	220920.1444
13.73018416	321.0922954	9.468336631	8.514844191	224123.4964	49750.19772	273873.6941
13.73003803	321.0190599	7.543960211	7.219452934	142278.3392	35764.32057	178042.6597
13.73009943	321.0498327	9.101048511	9.329245972	207072.71	59722.01986	266794.7298
13.73022866	321.1145958	9.785154531	9.017436638	239373.123	55796.58243	295169.7054
13.73028624	321.1434519	9.78545324	9.156736504	239387.7378	57533.77018	296921.5079
13.7301391	321.0697137	10.95696375	9.52197787	300137.6363	62215.09029	362352.7266
13.73001512	321.0075801	7.751429779	8.968871978	150211.659	55197.20029	205408.8593
13.73000644	321.0032284	8.261629644	9.814205908	170636.3109	66092.43174	236728.7427
13.73011835	321.0593125	9.587754762	8.552525247	229812.6034	50191.49479	280004.0982
13.73030511	321.15291	9.709898536	9.121159312	235705.324	57087.56022	292792.8842
13.73009615	321.0481864	9.625571543	8.552427738	231629.0688	50190.35032	281819.4192
13.73026131	321.130962	9.789423602	9.102622884	239582.0361	56855.76421	296437.8003
13.7300077	321.0038567	8.224440111	9.566834871	169103.5378	62802.64803	231906.1859
13.73009451	321.0473677	9.663970549	8.631160767	233480.8169	51118.70135	284599.5183
13.73030555	321.1531328	9.832294663	9.245027729	241685.0459	58648.62523	300333.6711
13.73043656	321.2187884	10.55160816	10.39272542	278341.0871	74114.00916	352455.0963
13.73017215	321.0862774	9.781208167	8.921655494	239180.083	54617.56051	293797.6435
13.73009645	321.0000608	6.281392711	7.421762362	98639.73597	37796.83974	136436.5757
13.73017646	321.0884378	9.890739646	10.69187709	244566.8269	78442.1187	323008.9456
13.7300084	321.0042096	7.851327301	9.231589216	154108.3509	58478.24663	212586.5976
13.73000027	321.0001361	9.180390596	10.79082992	210698.9287	79900.79405	290599.7228
13.73001279	321.0064095	10.67271772	8.922622017	284767.2588	54629.39508	339396.6539
13.73000934	321.0046825	9.412753855	8.195104069	221499.8378	46084.01892	267583.8568
13.73000878	321.0043991	7.640898233	9.012696928	145958.3145	55737.94268	201696.2572
13.73000826	321.0041421	6.695400161	7.813103393	112070.9583	41887.89568	153958.854
13.73000696	321.003487	8.16829447	9.478699869	166802.5864	61650.83235	228453.4187
13.73000183	321.0009184	7.804326692	8.977096982	152268.7878	55298.48512	207567.2729
13.73019364	321.0970436	9.522550954	8.629472022	226697.4417	51098.69987	277796.1415
13.73007522	321.0376982	10.78564024	9.201588528	290825.0882	58098.78066	348923.8689
13.73025373	321.1271614	10.0123111	9.614479907	250615.9341	63429.74895	314045.6831
13.73000341	321.0017112	8.961503338	10.66380322	200771.3552	78030.72546	278802.0807
13.73000645	321.0032319	6.396347663	7.561763266	102283.1586	39236.25551	141519.4141
13.73007345	321.036812	9.457359815	8.341775287	223604.1367	47748.35051	271352.4872
13.73009645	321.0000608	6.123810462	7.131253918	93752.63644	34895.80336	128648.4398
13.73009727	321.0487473	9.478091313	8.440727818	224585.5373	48887.87862	273473.4159
13.73024931	321.1249437	9.661898456	8.90160782	233380.7044	54372.37623	287753.0807
13.730097	321.0486139	9.053473359	9.588662169	204913.4497	63089.55085	268003.0005
13.73009645	321.0000608	7.753052381	9.317079268	150274.5531	59566.3489	209840.902
13.73023375	321.1171474	9.823735474	9.08877777	241264.4467	56682.9402	297947.3869
13.7300381	321.0190944	9.525152055	8.385560519	226821.3042	48250.91966	275072.2238
13.73048625	321.2436943	10.25553746	10.12089733	262940.1213	70287.71721	333227.8385
13.73019274	321.0965924	9.767486448	8.795918544	238509.4788	53088.90868	291598.3875
13.73019616	321.0983091	9.78012954	8.626797154	239127.3346	51067.02676	290194.3613

Maximo Impacto

## Perfil 9


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAJO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C25. ENERGIA CINETICA EN EL PERFIL 9 CORRIDA EN EL PROGRAMA

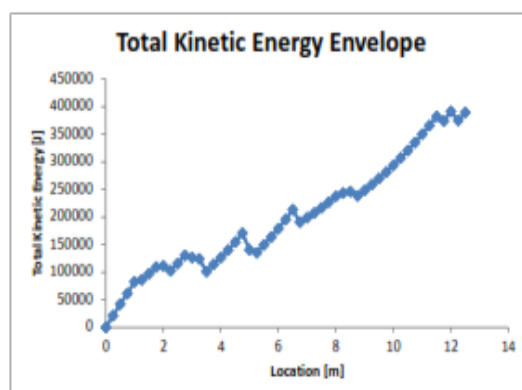


TABLA C41

RESULTADOS DE LA ENERGIA CINETICA OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA EL PERFIL 9

Longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)	longitud (m)	Energía cinética total (J)
0	0	4.2534	140014.0039	8.5068	246175.2131
0.2502	21154.33469	4.5036	154732.8899	8.757	238603.6502
0.5004	42302.66795	4.7538	170975.8327	9.0072	248293.3194
0.7506	61464.53676	5.004	140606.8191	9.2574	258659.9971
1.0008	82612.77382	5.2542	135293.5908	9.5076	269703.6834
1.251	86570.19046	5.5044	149557.0489	9.7578	281424.3782
1.5012	97112.45908	5.7546	163822.4349	10.008	293822.0815
1.7514	109576.0968	6.0048	178919.849	10.2582	306896.7934
2.0016	111545.6541	6.255	195408.89	10.5084	320648.5139
2.2518	102629.5509	6.5052	213289.5577	10.7586	335077.2429
2.502	115763.3732	6.7554	190965.5746	11.0088	350182.9804
2.7522	130846.2054	7.0056	198802.7644	11.259	365965.7265
3.0024	126779.5497	7.2558	207390.7682	11.5092	382425.4811
3.2526	124368.2821	7.506	216729.5859	11.7594	374001.4457
3.5028	101228.7151	7.7562	226819.2176	12.0096	391358.538
3.753	114006.5203	8.0064	237659.6632	12.2598	375003.9401
4.0032	126784.3255	8.2566	243512.1861	12.51	389388.3291

TABLA C42

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA ENERGIA EXACTA EN CADA COTA

Cota (msnm)	Longitud (m)	Energía cinética en la cota (J)	
	8.757	238603.6502	
324	8.84	X	X= 241818.0488 J
	9.0072	248293.3194	
	9.5076	269703.6834	
323	9.69	X	X= 278248.2666 J
	9.7578	281424.3782	
	10.5084	320648.5139	
322	10.66	X	X= 329391.1010 J
	10.7586	335077.2429	
	11.5092	382425.4811	
321	11.63	X	X= 378358.2410 J
	11.7594	374001.4457	
320	12.51	389388.3291	X= 389388.3291 J


PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C26. VELOCIDAD TRASLACIONAL EN EL PERFIL 9 CORRIDA EN EL PROGRAMA

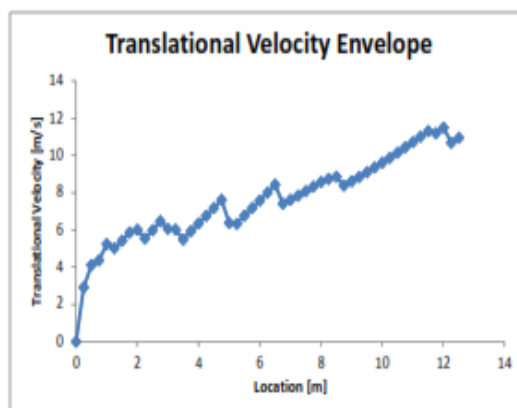


TABLA C43

RESULTADOS DE LA ENERGIA CINETICA OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA EL PERFIL 9

Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)
0	0	4.2534	6.754967099	8.5068	8.86041751
0.2502	2.908770622	4.5036	7.177130138	8.757	8.384201752
0.5004	4.113426775	4.7538	7.615626727	9.0072	8.612241677
0.7506	4.366146687	5.004	6.375997606	9.2574	8.849710605
1.0008	5.246192116	5.2542	6.32665098	9.5076	9.095870068
1.251	5.022250919	5.5044	6.762536201	9.7578	9.350033702
1.5012	5.425855853	5.7546	7.172032508	10.008	9.611566551
1.7514	5.867313424	6.0048	7.581359768	10.2582	9.879883417
2.0016	6.005825913	6.255	8.004538232	10.5084	10.15444654
2.2518	5.533184953	6.5052	8.439484546	10.7586	10.43476287
2.502	5.989128873	6.7554	7.411008541	11.0088	10.72038111
2.7522	6.473237022	7.0056	7.619575023	11.259	11.01088868
3.0024	6.066468963	7.2558	7.841755227	11.5092	11.30590869
3.2526	6.017426331	7.506	8.076425702	11.7594	11.19509919
3.5028	5.487861688	7.7562	8.322529952	12.0096	11.50100355
3.753	5.935305559	8.0064	8.579084044	12.2598	10.68643366
4.0032	6.35130524	8.2566	8.746821681	12.51	10.952334

TABLA C44

ITERACIONES PARA ENCONTRAR LA VELOCIDAD TRASLACIONAL EXACTA EN CADA COTA PARA EL PERFIL 9

Cota (msnm)	Longitud (m)	Velocidad traslacional (m/s)	
	8.757	8.384201752	
324	8.84	X	X= 8.4598 m/s
	9.0072	8.612241677	
	9.5076	9.095870068	
323	9.69	X	X= 9.2810 m/s
	9.7578	9.350033702	
	10.5084	10.15444654	
322	10.66	X	X= 10.7849 m/s
	10.7586	11.19509919	
	11.5092	11.30590869	
321	11.63	X	X= 11.2524 m/s
	11.7594	11.19509919	
320	12.51	10.952334	X= 10.9523 m/s




PROYECTO:	"USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARIAPOTO, PROVINCIA DE MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"	
ENTIDAD:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
TESISTA:	BACH. ALEX JHONATAN RAMIREZ TECCO	

GRAFICO C27. ENERGIA DE IMPACTO DE LAS ROCAS SOBRE LA BARRERA RXE-500-LA EN EL PERFIL 9

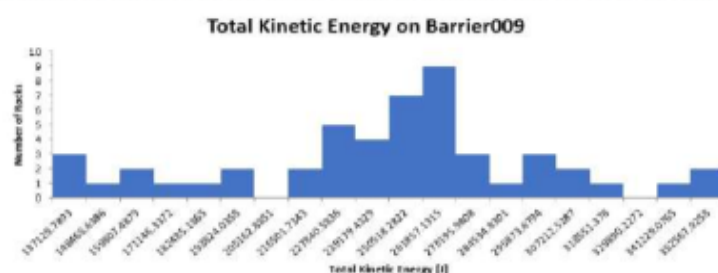


TABLA C45

RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROGRAMA ROCFALL PARA LOS IMPACTOS SOBRE LA BARRERA EN EL PERFIL 9

Coordenada (X)	Coordenada (Y)	Velocidad Traslacional (m/s)	Velocidad Rotacional (rad/s)	Energía Traslacional (J)	Energía Rotacional (J)	Energía Total (J)
11.63008183	321.0000794	6.38373861	7.1673314	101880.2966	35249.77681	137130.0734
11.63007099	321.0118113	9.016413286	10.05405769	203239.2714	69362.40548	272601.6768
11.63013942	321.0231974	9.397536296	10.69026266	220784.2211	78418.43164	299202.6527
11.63013561	321.0225635	8.80700671	9.365126546	193908.418	60182.28881	254090.7068
11.63016565	321.0275622	8.784380868	10.14906678	192913.3681	70679.52474	263592.8928
11.6300017	321.0002832	6.906087308	8.247093858	119235.1048	46670.58821	165905.693
11.63024231	321.040318	9.161178074	10.46386997	209817.9592	75132.1935	284950.1527
11.63019519	321.0324781	10.79895941	9.186718662	291543.8111	57911.15588	349454.967
11.63001557	321.002591	7.187519402	8.275142116	129151.0879	46988.58016	176139.6681
11.63022523	321.0374763	8.797335052	9.495831343	193482.7601	61873.8849	255356.645
11.63029119	321.0484511	9.637440206	10.73328431	232200.6343	79050.87243	311251.5067
11.63016388	321.0272684	8.809039511	9.590050843	193997.9428	63107.82601	257105.7688
11.63003097	321.0051527	7.486001025	8.723746582	140100.5284	52221.27639	192321.8048
11.63023633	321.0393234	8.35580499	9.388747592	174548.6926	60486.25937	235034.9519
11.6300784	321.0130454	8.556782408	9.213161493	183046.3129	58245.01584	241291.3288
11.63019705	321.0327871	9.677954179	11.00262605	234156.9927	83068.06713	317225.0598
11.63002491	321.0041447	8.131901544	9.575042499	165319.5568	62910.4542	228230.011
11.63012111	321.0201521	8.538701983	8.968405007	182273.5789	55191.45268	237465.0315
11.63000785	321.0013069	8.03354935	9.632473363	161344.7879	63667.38809	225012.176
11.63016155	321.0268799	8.85795303	9.856498004	196158.3297	66663.27978	262821.6095
11.63000261	321.0004345	8.533889113	8.966620661	182068.1585	55169.49317	237237.6516
11.63008183	321.0000794	6.299681077	7.433338084	99214.95417	37914.83514	137129.7893
11.63022592	321.0375912	8.998874594	10.20837534	202449.3599	71508.00468	273957.3646
11.63064888	321.107966	11.01413392	9.280090693	303277.8652	59094.33384	362372.1991
11.6302384	321.0396678	9.016593002	10.40320541	203247.3734	74263.55717	277510.9306
11.63001451	321.0024146	7.563393577	8.910137505	143012.306	54476.62738	197488.9334
11.63026135	321.0434858	8.610972579	9.755233517	185372.1219	65300.53506	250672.6569
11.63013175	321.0219218	8.555943324	9.18905989	183010.4154	57940.67686	240951.0923
11.63021214	321.0352971	8.973615996	9.992984118	201314.4601	68522.27833	269836.7384
11.63004618	321.0076835	9.288192268	11.10563859	215676.289	84630.80515	300307.0942
11.63000918	321.0015281	8.573035374	9.073983987	183742.3388	56498.56498	240240.9038
11.63000059	321.0000981	6.875959378	8.277870737	118197.0434	47019.57302	165216.6164
11.63030858	321.0513446	8.840795577	9.850571696	195399.1661	66583.14009	261982.3062
11.63019303	321.0321179	9.418237815	10.7437421	221758.0089	79204.9911	300963
11.63024511	321.0407832	8.724580653	9.728873232	190295.7689	64948.10577	255243.8747
11.6302133	321.0354905	8.980181575	10.20798545	201609.1528	71502.54248	273111.6953
11.63019232	321.0319993	11.06352438	9.186059525	306003.9291	57902.84605	363906.7751
11.63023403	321.0389401	8.913820662	9.804766167	198640.497	65965.35159	264605.8486
11.63008924	321.014849	9.63541319	11.47029109	232102.9684	90279.73575	322382.7041
11.63003457	321.0057514	7.695966845	9.075494036	148069.7642	56517.37099	204587.1352
11.63026989	321.0449061	8.592510697	9.896348477	184578.1002	67203.41757	251781.5178
11.63012128	321.0201794	8.945824655	10.56416638	200069.4469	76579.38343	276648.8303
11.63008183	321.0000794	6.44206527	7.660750578	103750.5124	40270.22401	144020.7364
11.63007585	321.0126201	8.588295596	9.279512498	184397.0531	59086.97033	243484.0235
11.63003759	321.0062542	8.841033174	9.390028338	195409.669	60502.7627	255912.4317
11.63018479	321.0307473	8.882128636	9.967945265	197230.5228	68179.32376	265409.8465
11.6300514	321.0085528	8.435076804	8.778681317	177876.3017	52881.03752	230757.3392
11.63020403	321.0339484	8.917371755	10.30725189	198798.7976	72899.94145	271698.739
11.63015472	321.0257438	8.183101255	9.055686569	167407.8654	56270.93938	223678.8047
11.63008183	321.0000794	6.707565576	7.898724388	112478.5899	42810.99488	155289.5848

Maximo Impacto

**Anexo D:** Constancia de ejecución de ensayos de Laboratorio de Mecánica de suelos y Pavimentos UNSM FICA.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos**  
 CIUDAD UNIVERSITARIA  
 Jr. Amorarca 3° Cuzco Teléfono 042-52-1402  
 MORALES - PERU



**CONSTANCIA DE EJECUCION DE ENSAYOS DE LABORATORIO**

**EL QUE SUSCRIBE**

**Ing. M.Sc. Enrique Napoleón Martínez Quiroz**, Jefe del laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos.

**HACE CONSTAR:**

*Que el Tesista Alex Jhonatan Ramírez Tecco han hecho uso del laboratorio para realizar los siguientes ensayos de laboratorio:*

*Contenido de Humedad Natural*

*Límites de atterberg (límite líquido y límite plástico)*

*Ensayo granulométrico por tamizado*

*Corte directo*

*Ensayos realizados desde 13/12/2,019 al 18/12/2,019*

**Ensayos para poder concluir con su Tesis Titulado: “USO DE BARRERAS DINAMICAS EN AREAS CON AMENAZA DE CAIDA DE ROCAS PARA MITIGACION DE RIESGO EN ZONA VIAL URBANA EN LA ALAMEDA SHILCAYO EN LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN” Aprobado con Resolución N° 725-2018-UNSM/FICA-D-NLU.**

*Se expide el presente a solicitud del interesado.*

**Tarapoto 31 de Diciembre del 2,019**



**Ing. M.Sc. Enrique Napoleón Martínez Quiroz**

*Jefe del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos*



**Anexo E:** Documento de Autorización por parte de la Municipalidad Provincial de San Martín para la realización del presente proyecto de tesis



## MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE SAN MARTÍN

"Año de la Lucha contra la corrupción y la impunidad"

Tarapoto, 09 de Setiembre del 2019

CARTA N° 454 2019-GI-MPSM.

SEÑOR:  
BACH. ALEX JHONATAN RAMÍREZ TECCO  
ESTUDIANTE DE INGENIERÍA CIVIL  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN.  
CIUDAD.-

ASUNTO: AUTORIZA REALIZAR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.  
REF. : DOCUMENTO ADMINISTRATIVO.- Registro N° 16476.  
INFORME N° 122 - 2019-SGEyP-GI-MPSM.

Es grato dirigirme a usted, para saludarle cordialmente y en atención a los documentos de la referencia, se autoriza la realización de trabajo de investigación, denominado **"Uso de barreras dinámicas en áreas con amenaza de caída de rocas para mitigación de riesgo en zona vial urbana en la Alameda Shilcayo, en la Ciudad de Tarapoto, Provincia de San Martín, Departamento de San Martín"**, para el proyecto de tesis, para la obtención de Título Profesional de Carrera de Ingeniero Civil, de la Universidad Nacional de San Martín.

Se le recomienda no perjudicar el tránsito vehicular ni peatonal y el estado del área de intervención, al realizar las excavaciones para los ensayos, utilizar señales de seguridad respectiva; debiendo dejar en condiciones optimas las zonas a intervenir.

Asimismo, deberá informar a esta Gerencia, al término de mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para expresarle mi reiterado saludo y estima.

Atentamente,



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE SAN MARTÍN  
GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA  
*[Firma]*  
Ing. Daniel Navarro Amasifuen  
REG. C.P. N° 85278  
GERENTE

## Anexo F: Panel fotográfico

### Extracción de muestras de suelo en el área de estudio



**Fotografía 14.** Extracción de muestra en P-01, con el instrumento posteadora.



**Fotografía 15.** Muestra inalterada obtenida por el instrumento, profundidad 1.50 m.







**Fotografía 18.** En cada calicata se midió la altura de los estratos.



**Fotografía 19.** Se hizo la limpieza en los puntos, para la excavación.





**Fotografía 20.** El personal técnico nos ayudó con el equipamiento y la extracción de las muestras.



**Fotografía 21.** En las calicatas 02 y 03 se encontró formación rocosa a 1 m de profundidad.

## Ensayos de laboratorio del estudio de mecánica de suelos



**Fotografía 22.** Las muestras extraídas fueron derivadas al laboratorio de mecánica de suelos de la UNSM.



**Fotografía 23.** Las muestras se colocaron en los recipientes para su posterior pesaje.





**Fotografía 24.** Se tomó nota del peso de cada recipiente, luego puestas en el horno para determinar el contenido de humedad.



**Fotografía 25.** Se hizo el lavado de la muestra por la malla N° 200 para no tener impurezas



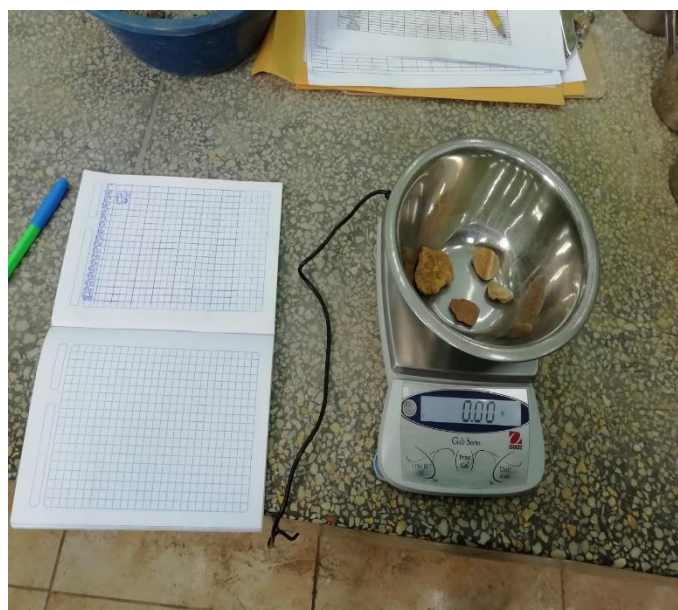
**Fotografía 26.** La muestra libre de impureza fue llevada al horno para su secado.



**Fotografía 27.** Después se procedió a pesar la muestra seca.



**Fotografía 28.** Se removió manualmente por el juego de tamices.



**Fotografía 29.** Se anoto el pesaje de muestra retenida en cada tamiz, para la posterior clasificación del suelo.





**Fotografía 30.** Una porción de muestra fue secada al sol, luego saturada para los ensayos de límites de Atterberg.



**Fotografía 31.** Se extrajo un bloque de muestra inalterada para el ensayo de corte directo.



## **Anexo G: Planos**